



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Universitätsbibliothek Paderborn

Lehrbuch des Hochbaues

Grundbau, Steinkonstruktionen, Holzkonstruktionen, Eisenkonstruktionen ,
Eisenbetonkonstruktionen

Esselborn, Karl

Leipzig, 1908

I. Der Baustoff und die Grundlagen der Berechnung.

[urn:nbn:de:hbz:466:1-50294](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:466:1-50294)

IV. Kapitel.

Eisenkonstruktionen.

Bearbeitet von

Georg RÜTH,

Diplom-Ingenieur in Firma Dyckerhoff & Widmann in Biebrich a. Rh.²⁾

(Mit 480 Abbildungen.)

I. Der Baustoff und die Grundlagen der Berechnung.

A. Das Eisen als Material.

§ 1. Die verschiedenen Eisensorten. Das für technische Zwecke hergestellte Eisen zerfällt je nach seinem Gehalt an Kohlenstoff in Roheisen (Gußeisen), Schmiedeeisen und Stahl. Mit der Zunahme des Kohlenstoffgehalts wird die Schmelztemperatur erniedrigt, während die Schweiß- und Schmiedetemperatur zunimmt, so daß das Eisen um so leichter schmelzbar und um so schwerer schmied- und schweißbar wird, je höher der Kohlenstoffgehalt ist.

1. Das **Roheisen** wird aus den Eisenerzen (Spateisenstein, Brauneisenstein, Roteisenstein, Magneteisenstein) dadurch gewonnen, daß diese nach entsprechender Vorbereitung mit festen Brennstoffen im Hochofen verschmolzen werden. Der Kohlenstoffgehalt dieses so gewonnenen Eisens schwankt ungefähr zwischen 2,5 bis 5%. Durch diesen verhältnismäßig hohen Kohlenstoffgehalt ist das Roheisen leicht schmelzbar (bei ungefähr 1000—1200°), hart und spröde, jedoch nicht schmied- und schweißbar.

Je nach der Beschaffenheit des im Eisen enthaltenen Kohlenstoffs und der hierdurch bedingten Farbe unterscheidet man:

a) *Weißes Roheisen*, bei dem der Kohlenstoff chemisch gebunden ist. Dieses weiße Eisen ist sehr hart und spröde und eignet sich deshalb nicht zur Verwendung in der Bautechnik, sondern dient hauptsächlich zur Herstellung von Stahl und Schmiedeeisen.

b) *Graues Roheisen*, bei dem nur der geringere Teil des Kohlenstoffs chemisch gebunden, der größere Teil jedoch mechanisch als Graphit beigemischt ist. Dieses graue Roheisen ist weicher und weniger spröde als das weiße Eisen, läßt sich leicht bearbeiten und wird hauptsächlich zu Formguß verwendet. Eine Mischung aus grauem und weißem Eisen bezeichnet man als »halbiertes Eisen«.

c) *Gußeisen* ist graues oder ausnahmsweise auch halbiertes Roheisen, das zwecks Reinigung in Kupol- oder Flammöfen umgeschmolzen worden ist. Dieses Gußeisen

²⁾ Früher langjähriger Assistent des Geh. Baurat Prof. Dr. LANDSBERG an der Technischen Hochschule zu Darmstadt und Lehrer an der Großh. Landes-Baugewerkschule zu Darmstadt. Der Herausgeber.

wird zur Herstellung von Eisengu waren verwendet; es besitzt die hierzu nötigen Eigenschaften, leicht flüssig zu werden, beim Erstarren sich etwas auszudehnen und somit die Form gut auszufüllen.

Wird das graue oder halbierte Eisen beim Guß rasch abgekühlt, z. B. durch Eingießen in kalte, eiserne Formen, so verwandelt es sich an seinem Umfang bis zu einer gewissen Tiefe in weißes Eisen; es wird also an der Oberfläche besonders hart, während der Kern grau, weich und zäh bleibt. Einen solchen Guß, der recht widerstandsfähig ist, nennt man »Hartguß«.

Will man Gußstücke aus weißem Eisen nach ihrer Herstellung weich und zäh gestalten, also bearbeitungsf hig machen, so kann dies durch nachträgliches Glühen mit gepulvertem Roteisenstein oder Holzkohlenstaub geschehen. Hierdurch erhält man den sog. Temperguß oder schmiedbaren Guß.

2. Das **schmiedbare Eisen** wird aus dem Roheisen durch Verringerung des Kohlenstoffgehalts auf 1,6 und weniger Prozent nach den verschiedenen Entkohlungsverfahren gewonnen, und zwar unterscheidet man, je nachdem das schmiedbare Eisen h rtbar ist oder nicht, zwei Hauptarten, nämlich: das nicht härtbare Schmiedeeisen und den härtbaren Stahl.

Der Kohlenstoffgehalt des Schmiedeeisens ist geringer als der des Stahls. Nach der Herstellungsweise werden diese beiden Hauptarten des schmiedbaren Eisens in je zwei Unterarten geschieden: das Schmiedeeisen in Schweiß- und Flußeisen, der Stahl in Schweiß- und Flußstahl.

a) *Das Schmiedeeisen* ist durch den geringen Kohlenstoffgehalt schmiedbar, schweißbar und schwerer schmelzbar als Roheisen (Schmelztemperatur bei 1500° und höher), aber nicht h rtbar, wenigstens nicht merklich. Durch diese letzte Eigenschaft unterscheidet es sich gerade vom Stahl, der durch besondere Bearbeitung eine bedeutende Vergr o erung seiner Härte gestattet, d. h. h rtbar ist.

Der Übergang von Schmiedeeisen in Stahl, also die Grenze, bei der eine merkliche Härtbarkeit des Eisens beginnt, lässt sich im allgemeinen nicht genau festlegen; auch ist die Eigenschaft der Härtbarkeit nicht, wie früher angenommen wurde, allein an den gr o eren Kohlenstoffgehalt gebunden, sondern es kann diese Eigenschaft auch bei sehr geringem Kohlenstoffgehalt durch Beimischung von Silizium, Mangan usw. bedingt sein. Deshalb wird allgemein für die Unterscheidung von Schmiedeeisen und Stahl nicht nur die Härtbarkeit zugrunde gelegt, sondern man nimmt hierzu noch die Zugfestigkeit des Materials zu Hilfe; und zwar bezeichnet man in der Regel ein Eisen, dessen Zugfestigkeit gr o er oder gleich 4500 kg/qcm ist, als Stahl, und ein Eisen mit geringerer Zugfestigkeit als Schmiedeeisen.

a) Schweißeisen wird durch das »Frischen« oder »Puddeln« in geeigneten Öfen aus geschmolzenem Roheisen gewonnen, indem man diesem in teigigem Zustande den gr o eren Teil des Kohlenstoffs entzieht. Hierbei wird das flüssige Roheisen mit oxydreichen Schlacken vermengt und dieses Gemisch im Flammofen in dickflüssigem Zustand weiter erhitzt; nicht im dünnflüssigem, weil beim dickflüssigen Zustand eine bessere Mischung von Eisen und Schlacken vorhanden ist.

Durch diese Erhitzung wird der im Eisen enthaltene Kohlenstoff oxydiert und der Kohlenstoffgehalt des Eisens immer geringer. Mit dieser Abnahme des Kohlenstoffs wird das Eisen strengflüssiger, und um eine weitere Verbrennung des Kohlenstoffs zu erzielen, muß die Masse umgerührt (gepuddelt) werden, bis schließlich ein teigiger Eisenklumpen entsteht, der mit flüssiger Schlacke durchsetzt ist und Luppe genannt wird. Unter dem Dampfhammer wird nun die Schlacke ausgepreßt und das übrig bleibende Eisen zweckm o ig unter Verwendung der noch darin enthaltenen Hitze aus-

gehämmert und ausgewalzt. Dieses so erhaltene Schweißisen ist nicht vollständig frei von Schlacke, jedoch sehr zäh, leicht schmied- und schweißbar.

β) Flußeisen. Beim Flußeisen, aus dem Roheisen durch Entkohlung in flüssigem Zustand gewonnen, unterscheidet man je nach den Herstellungsverfahren von BESSEMER, THOMAS und MARTIN die Sorten: Bessemer-, Thomas- und Martinflußeisen. Das durch diese drei Verfahren gewonnene Eisen ist frei von Schlacke.

Beim Bessemer-Verfahren wird flüssiges, siliziumreiches Roheisen, das direkt dem Hochofen entnommen oder zuvor in Kupolöfen umgeschmolzen worden ist, in ein birnenförmiges Gefäß, die Bessemer Birne, gefüllt und durch am Boden der Birne befindliche Öffnungen, sog. Düsen, atmosphärische Luft unter großem Druck eingepreßt. Durch diese starke Luftzufuhr verbrennen Kohlenstoff, Silizium und Mangan, die im Roheisen enthalten sind, und die bei dieser Verbrennung entstehende Hitze ist so groß, daß auch das kohlenstoffärmere Eisen in flüssigem Zustand erhalten bleibt.

Die Bessemer Birne ist im Innern mit einer feuerfesten, kieselsäurereichen Ausfütterung versehen, und nach dieser sauren Ausfütterung bezeichnet man dieses Verfahren auch als saures Verfahren. Nachdem die Entkohlung bis zum gewünschten Grade vorgeschritten ist, wird das fertige Produkt durch Umkippen der Birne entnommen und nach Abkühlung bis zur Walztemperatur unter Ausnutzung der einmal vorhandenen Hitze ausgewalzt. Die ganze Blasezeit dauert 20—25 Minuten.

Durch dieses Bessemer-Verfahren wird der etwa im Roheisen enthaltene Phosphor nicht entfernt, und da phosphorhaltiges Eisen bedeutende Fehler hat, z. B. brüchig ist, so kann aus phosphorhaltigen Erzen durch dieses Verfahren kein brauchbares Eisen gewonnen werden. Bemerkte sei, daß die meisten deutschen Eisenerze phosphorhaltig sind.

Zu phosphorhaltigen Erzen verwendet man an Stelle des sauren Verfahrens das Thomas-Verfahren, auch basisches Verfahren genannt.

Zu diesem Verfahren kommt ein phosphorhaltiges, siliziumarmes Roheisen zur Verwendung. Die Birne ist hier nicht sauer, sondern basisch ausgefüttert, und während des Blasens gibt man einen basischen Zuschlag von gebranntem Kalk. Bei der Entkohlung verbrennt zugleich der Phosphor und dient als Hitze-Erzeuger. Die Dauer dieses Verfahrens ist etwas kürzer als die des sauren Verfahrens, da der Entkohlungsprozeß ungefähr 15 bis 20 Minuten beansprucht. Das hierdurch sich ergebende Produkt nennt man Thomaseisen; es wird in Deutschland in großen Massen und sehr billig hergestellt.

Beim Martin-Verfahren, auch Martin-Siemens-Verfahren genannt, wird flüssiges Roheisen mit festem schmiedbarem Eisen im Flammofen mit Regenerator-Feuerung von Siemens zusammenschmolzen; dieser Zusatz von festem, schmiedbarem Eisen, zu dem meist Abfälle der Flußeisenverarbeitung Verwendung finden, wird nach und nach dem flüssigen Roheisen beigegeben. Bei dem Entkohlungsprozeß verbrennt außer Kohlenstoff noch Silizium und Mangan, und das sich ergebende Endprodukt kommt unter dem Namen Martin-Flußeisen in den Handel.

Auch bei dem Martin-Verfahren unterscheidet man ein saures Verfahren für siliziumreiches und ein basisches Verfahren für phosphorhaltiges Eisen. Bei dem sauren Verfahren wird wieder eine kieselsäurereiche Ausfütterung, bei dem basischen Verfahren dagegen eine solche von gebranntem Dolomit verwendet.

Bei dem basischen Verfahren wird ebenfalls ein Zuschlag von gebranntem Kalk beigegeben. Die Dauer des Entkohlungsprozesses ist ungefähr die gleiche wie bei der Schweißisenerzeugung und beträgt 4 bis 6 Stunden. Diese längere Dauer ermöglicht es, mit großer Sicherheit ein Eisen mit dem jeweils vorgeschriebenen Kohlenstoffgehalt und von ganz bestimmter Qualität herzustellen, weil im Laufe des Verfahrens jederzeit Proben entnommen werden können.

Die zulässige Beanspruchung auf Zug beträgt 250 kg/cm, diejenige auf Druck 500 kg/qcm.

Das Gußeisen ist daher zweckmäßig nur für solche Konstruktionsteile zu verwenden, die auf ruhigen Druck beansprucht werden und bei denen auf eine leichte Formbildung Wert gelegt wird, wie z. B. bei Säulen, Stützen, Konsolen usw. Bei gußeisernen Säulen ist besonders darauf zu achten, daß exzentrisch wirkende Belastungen, die Zugspannungen bewirken können, möglichst ausgeschlossen sind, und daß vor allem heftige Stöße und Erschütterungen nicht auftreten können.

Die Normalbedingungen für die Lieferung von Eisenkonstruktionen für Brücken- und Hochbau²⁾ schreiben auszusweise vor:

»Die aus Gußeisen bestehenden Teile müssen, wenn nicht Hartguß oder andere Gußeisensorten ausdrücklich vorgeschrieben sind, aus grauem, weichen Eisen sauber und fehlerfrei hergestellt sein.

Die Zugfestigkeit soll bei Gußeisen mindestens 12 kg/qmm betragen.

Es muß möglich sein, mittels eines gegen eine rechtwinkeligen Kante des Gußstückes mit dem Hammer geführten Schlages einen Eindruck zu erzielen, ohne daß die Kante abspringt.

Die Wanddicke soll in keinem Falle weniger als 10 mm betragen.«

Mit Rücksicht auf eine gleichmäßige Abkühlung nach dem Gießen und auf einen gleichmäßig guten Guß sind die Wandungen eines Gußstückes möglichst gleichstark zu bemessen und Stärken von mehr als 6—8 cm tunlichst zu vermeiden. Die Länge der Gußstücke soll gewöhnlich nicht mehr als 5 m betragen.

2. Der Stahl wird trotz seiner großen Festigkeit verhältnismäßig wenig im Hochbau verwandt und zwar nur zu solchen Konstruktionsteilen, die einer starken Abnutzung und Beanspruchung ausgesetzt sind. So werden z. B. Gelenkbolzen, Auflagerteile, Schienen usw. meist aus Stahlguß hergestellt. Der Grund, der gegen die allgemeine Verwendung des Stahles spricht, liegt vor allem in der durch seine große Härte bedingten schwierigen Bearbeitung und den höheren Kosten des Materials.

Die oben erwähnten Normalbedingungen schreiben vor:

»Die aus Flußstahl herzustellenden gegossenen oder geschmiedeten Teile (Auflagerteile oder dgl.) sollen eine Festigkeit von 45 bis 60 kg/qmm (4500 bis 6000 kg/qcm) und eine Dehnung von mindestens 10% aufweisen.«

3. Das Schmiedeeisen findet sowohl als Schweißisen als auch als Flußeisen die ausgedehnteste Verwendung zu den Konstruktionen des Hoch- und Brückenbaues. Die hierfür in Betracht kommenden Eigenschaften sind besonders die hohe Widerstandsfähigkeit gegen Zug und Druck, die Elastizität und die Zähigkeit. Unter Zähigkeit versteht man den Widerstand, den das Eisen dem Zerreißen entgegengesetzt. Als Maß der Zähigkeit wird diejenige Größe der Formänderung (Dehnung) betrachtet, die das Eisen nach dem Überschreiten der Elastizitätsgrenze (s. § 9) bis zum Eintritt des Bruches aufweist.

Das Schmiedeeisen ändert je nach dem Kohlenstoffgehalt seine Eigenschaften, und zwar ist durch eine Zunahme des Kohlenstoffgehalts eine Zunahme der Festigkeit und Härte, dagegen eine Abnahme der Zähigkeit bedingt. Da also mit größerer Festigkeit geringere Zähigkeit verbunden ist, so verlangt man zur größeren Sicherheit gegen Stöße ein Eisen mit einem bestimmten Mindestmaß von Zähigkeit, auch wenn hierbei eine

²⁾ Aufgestellt von dem Verbands deutscher Architekten- und Ingenieur-Vereine, dem Vereine deutscher Ingenieure und dem Vereine deutscher Eisenhüttenleute.

etwas geringere Festigkeit mit in Kauf genommen werden muß. Das Maß der Zähigkeit ist also von dem Maß der Zugfestigkeit im entgegengesetzten Sinne abhängig, weshalb die Zugfestigkeit gewisse Grenzen nach oben und unten nicht überschreiten darf. Denn eine zu große Zugfestigkeit würde eine zu geringe Zähigkeit und eine zu große Zähigkeit eine zu geringe Festigkeit zur Folge haben.

Nach den Normalbedingungen ist folgendes festgesetzt:

a) Für Schweißisen soll betragen:

1. Bei Flacheisen, Formeisen und Blechen, die im wesentlichen nur in der Längsrichtung beansprucht werden: Die Zugfestigkeit in der Längsrichtung mindestens 3400—3600 kg/qcm, die Dehnung bis zum Bruche 12%.
2. Bei Eisen für Nieten und Schrauben, je nachdem der Durchmesser kleiner oder größer als 25 mm ist: Die Zugfestigkeit in der Längsrichtung 3600—3800 kg/qcm, die Dehnung 15—18%.

b) Für Flußeisen soll betragen:

In der Längsrichtung die Zugfestigkeit mindestens 3700, höchstens 4400 kg/qcm; die Dehnung wenigstens 20%.

In der Querrichtung die Zugfestigkeit mindestens 3600, höchstens 4500 kg/qcm; die Dehnung wenigstens 17%.

Bei Niet- und Schraubenmaterial: die Zugfestigkeit mindestens 3600 höchstens 4200 kg/qcm; die Dehnung wenigstens 22%.

Des weiteren stellen die Normalbedingungen in bezug auf die Güte der Materialien noch folgende Anforderungen:

»Das Schweißisen soll dicht, gut stauch- und schweißbar, weder kalt- noch rotbrüchig, noch langrissig sein, eine glatte Oberfläche zeigen und darf weder Kantenrisse noch offene Schweißnähte oder sonstige unganze Stellen haben.«

»Das Flußeisen soll eine glatte Oberfläche ohne Schiefer und Blasen zeigen und darf weder Kantenrisse noch unganze Stellen haben.«

Die Verwendung des Flußeisens, das in den verschiedensten Walzprofilen, Flacheisen, Blechen usw. (s. § 6) erhältlich ist, findet hauptsächlich zu solchen Konstruktionsteilen statt, die entweder, wie z. B. Träger aus I-Eisen, ohne Bearbeitung direkt durch Walzprofile gebildet oder die durch Verbindung von Blechen und Walzprofilen mittels Vernietung oder Verschraubung hergestellt werden; dagegen wird zu Konstruktionen, bei deren Bildung Flach-, Vierkant- und Rundeisen usw. weiter auszuschmieden oder zu schweißen sind, hauptsächlich Schweißisen und auch das basisch hergestellte Martinisen verarbeitet. Solche Schweiß- und Schmiedearbeiten dürfen natürlich zu Fachwerks- und Tragkonstruktionen keine Verwendung finden, sondern nur zu untergeordneten Konstruktionsteilen, wie Verzierungen, Geländer, kleinere Anker usw., deren eventueller Bruch keine direkte Gefahr für das betreffende Bauwerk ergeben würde.

Zu den Nieten, die starke Formänderungen zu ertragen haben, wird das beste, weiche Schweißisen verwendet.

Die durch Gießen hergestellten Gegenstände, die Gußwaren, werden je nach dem verwendeten Material unterschieden in:

1. Roheisenguß-Gegenstände, die aus grauem, seltener halbiertem Roheisen hergestellt werden. Mit besonderem Vorteil verwendet man auch oft den sog. Hartguß und den Temperguß zur Herstellung von Roheisen-Gußwaren.

2. Flußeisen-Gußwaren, Gegenstände, die aus Flußeisen in fertiger Form hergestellt worden sind.

3. Stahlgußwaren, aus Gußstahl (Tiegelflußstahl) in fertiger Form gegossen (Stahlformguß).

§ 3. Die Bearbeitung des Eisens, insbesondere des Flußeisens. Das heute fast durchweg zu den Fachwerks- und Tragkonstruktionen des Eisenhochbaues und der eisernen Brücken verwendete Material ist das Flußeisen. Dieses Eisen muß bei der Bearbeitung sehr vorsichtig behandelt werden, damit das vorzügliche Material nicht verdorben wird; besonders darf es nicht im kalten Zustand bearbeitet werden. Unter dem allgemeinen Ausdruck »Bearbeiten« versteht man unter anderm das Hämmern, Schneiden mit der Schere, Biegen, Kröpfen und das Stoßen (Stanzen) der Nietlöcher.

Das Hämmern macht das Material hart und spröde; durch das Schneiden mit der Schere entsteht längs des Schnittes ein harter, spröder Rand, der mit der Kaltsäge oder der Hobelmaschine entfernt werden muß. Das Stoßen der Nietlöcher ergibt um das Loch herum einen harten, spröden Rand von 1 bis 2 mm Breite, der durch Nacharbeiten des Loches mittels Bohrens oder Aufreibens zu beseitigen ist. Es ist deshalb empfehlenswert, beim Stanzen von Nietlöchern diese zunächst mit einem 1 bis 2 mm kleineren Durchmesser zu stanzen und den Rest nachzubohren oder aufzureiben; besser ist es allerdings alle Löcher zu bohren. Biegungen und Kröpfungen sollten nur in rotwarmem Zustande vorgenommen werden. Beim Verladen und Verfahren des Materials ist auf eine vorsichtige Behandlung zu achten; denn durch das Werfen und harte Aufschlagen können kleine, mit bloßem Auge nicht sichtbare Beschädigungen entstehen, die um so gefährlicher sind, da sie meist ohne weiteres nicht erkannt werden und so die Ursache eines späteren, unvorhergesehenen Bruches bilden können.

Ferner dürfen Bearbeitungen in der Blauwärme, d. h. bei einer Temperatur zwischen rotwarm und kalt, nicht zugelassen werden, denn eine solche macht das Eisen sehr spröde und ist somit sehr gefährlich. Bei längerer Bearbeitung eines Gegenstandes in der Rotglut ist es deshalb nötig, von Zeit zu Zeit das betreffende Gebrauchsstück von neuem zu erhitzen, sobald die Blauwärme einzutreten beginnt. Den Eintritt der Blauwärme erkennt man daran, daß Holz, z. B. der Hammerstiel, nicht mehr aufglüht, wenn es an dem Eisen gerieben wird.

Diese Vorschriften für die Behandlung und Bearbeitung des Eisens sind bedingt durch die mit einer mechanischen Bearbeitung verbundenen Änderungen der Eigenschaften des Eisens: Mechanische Bearbeitung wie Schmieden, Walzen usw. erhöht die Festigkeit des Eisens und zwar hat eine Bearbeitung in Rotglut eine Erhöhung der Festigkeit zur Folge, ohne daß die Zähigkeit in gleichem Maße abnimmt, während durch Bearbeitung in kaltem Zustand neben der Erhöhung der Festigkeit eine bedeutende Abnahme der Zähigkeit eintritt. Mit Rücksicht hierauf ist eine Bearbeitung im kalten oder blauwarmen Zustand zu vermeiden oder wenigstens möglichst zu beschränken. Hat eine solche stattgefunden, so können die früheren Eigenschaften wieder erreicht werden durch nachträgliches Erhitzen (Ausglühen) und langsames Abkühlen des betreffenden Gegenstandes, und zwar ist zu diesem Zweck Flußeisen auf 450°, Schweiß Eisen auf 400° zu erhitzen.

§ 4. Schutz der Eisenkonstruktionen gegen Rost. Eine große Gefahr für die Eisenkonstruktionen bildet deren Rosten, d. h. die Umwandlung des Eisens in Eisenoxydhydrat. Diese Oxydation des Eisens erfolgt durch den Sauerstoff der atmosphärischen Luft in Gegenwart von Wasser und Kohlensäure und ganz besonders rasch durch Säuren und Salzlösungen; so befördert z. B. Seewasser sehr rasch die Rostbildung. Dagegen rostet das Eisen nicht in völlig wasserfreier Luft und in sauerstoffreinem Wasser.

Bei den verschiedenen Eisensorten ist der Grad der Rostbildung verschieden, so z. B. rostet gewalztes Eisen rascher als geschmiedetes Eisen, kohlenstoffarmes Eisen (Schmiede-

eisen) rascher als kohlenstoffreiches Eisen (Gußeisen), Flußeisen rascher als Schweiß-eisen und ungehärteter Stahl rascher als gehärteter. Mit der Rostbildung ist eine Volumvergrößerung verbunden. Frischer Kalkmörtel greift das Eisen stark an und zwar das Gußeisen am wenigsten; daher empfiehlt es sich, gewalzte Träger usw. immer auf gegossene gußeiserne Platten zu verlegen. Zementmörtel dagegen hält das Eisen blank und schützt es vor der Rostbildung, was für die Eisenbetonkonstruktionen sehr wichtig ist.

Um die Zerstörung des Eisens durch Rost zu verhindern oder wenigstens so weit wie möglich zu beschränken, wird das Eisen mit einem rostschützenden Überzug versehen. Die für die Eisenkonstruktionen des Eisenhoch- und Brückenbaues wichtigsten und bewährtesten Rostschutzmittel sind: Ölfarbanstriche, die Überzüge von Portlandzement, Teer, Asphalt, die Metallüberzüge und die künstliche Oxydation.

Bei der Aufbringung dieser Rostschutzmittel ist es sehr wesentlich, daß die schützende Hülle auf metallisch reines Eisen aufgebracht wird; denn befinden sich unter dieser Hülle kleine Rostteilchen, so kann die Rostbildung an der betreffenden Stelle weiter gefördert und durch die damit verbundene Volumvergrößerung die Hülle gesprengt und unwirksam gemacht werden. Die vollständige Reinigung der Oberfläche wird teils auf mechanischem und teils auf chemischem Wege mittels verdünnter Salzsäure und mit Kalkwasser vorgenommen. Nach dieser Reinigung werden dann die betreffenden Rostschutzmittel aufgebracht.

Der gebräuchlichste, rostschützende Überzug ist der Anstrich mit Ölfarbe. Nach der Reinigung ist die Oberfläche baldmöglichst mit einem Anstrich von dünnflüssigem Leinölfirnis zu versehen. Dann werden der Grundanstrich und schließlich die Deckanstriche aufgetragen.

Der Grundanstrich erfolgt in der Werkstatt, während die Deckanstriche nach der Montage vorgenommen werden. Diejenigen Flächen, die aufeinander zu liegen kommen, werden vor der Zusammensetzung gewöhnlich mit einem einfachen Deckanstrich versehen. Zur Grundierung wird zweckmäßig dünnflüssiger, rasch trocknender Leinölfirnis verwendet, der mit gutdeckenden Farbstoffen, wie Graphit, Ocker, Eisenmennige, Bleimennige usw., gemischt ist. Zum Deckanstrich eignen sich besonders die Bleiweißölfarben mit einem, der gewünschten Farbe entsprechenden Zusatz. Mit Rücksicht auf eine Verhütung der Blasenbildung soll ein weiterer Anstrich immer erst nach der vollständigen Trocknung des vorhergehenden erfolgen.

Solche Konstruktionsteile, die der Feuchtigkeit besonders ausgesetzt sind und entweder nicht sichtbar bleiben oder untergeordneten Zwecken dienen, werden zweckmäßig in heißem Zustande mit einem Anstrich von heißem Teer, Asphalt oder Pech versehen, was sich besonders für gußeiserne Rohre gut bewährt hat.

Ein vorzüglicher Rostschutz läßt sich mit Hilfe von Portlandzement erreichen, der sogar den Vorteil hat, daß schon vorhandener Rost durch ihn beseitigt wird. Der Schutz wird erzielt entweder durch einen Anstrich mit Zementbrei oder auch durch Umgeben des zu schützenden Gegenstands mit Zementmörtel (Eisenbetonkonstruktionen, Umkleiden eiserner Säulen usw.).

Handelt es sich um den Rostschutz von kleinen Eisenteilen, die ganz besonders dem Einfluß der Witterungsverhältnisse unterworfen sind, z. B. Bleche für Dachdeckungs- und Verkleidungsarbeiten, Wellblechdeckung usw., so wird man am besten und sichersten Metallüberzüge verwenden. Diese werden meist in heißem Zustande durch Eintauchen der völlig gereinigten Gegenstände in die geschmolzenen Metalle, oft aber auch im kalten Zustande durch die Elektrolyse hergestellt.

Ein Zinküberzug bietet einen vorzüglichen Schutz auch vor Salzwasser. Verzinktes Eisen wird im Handel vielfach als »galvanisiertes« bezeichnet. Zinn schützt viel

weniger sicher als Zink. Blei bildet einen guten Überzug, der auch gegen Salz und Schwefelsäure wirksam ist. Zu Dachdeckungen von Gasanstalten und chemischen Fabriken werden deshalb sehr oft Bleche mit einem Überzug von Blei und Zink verwendet. Auch galvanisch verkupferte Eisenbleche dienen öfters zu Dachdeckungsarbeiten.

Ein weiteres Mittel gegen Rostbildung, das Emaillieren, hat für die Hochbaukonstruktionen nur geringe Bedeutung; es wird nur in ganz speziellen Fällen, z. B. bei Wasserbehältern für Spülklosette usw., manchmal Anwendung finden.

Die künstliche Oxydation des Eisens zum Schutz gegen Rosten besteht in der Erzeugung eines Eisenoxyduloxyd-Überzugs, der auf dem Eisen sehr fest haftet. Da aber dieser Überzug wenig biegsam ist, so kann dieses Verfahren für Eisenteile, die nachträglich noch bearbeitet werden sollen, im allgemeinen keine Verwendung finden.

Neben diesen verschiedenen Mitteln zur Verhütung der Rostbildung hat man auch bei der Ausführung der Konstruktionen darauf zu achten, daß die einzelnen Konstruktionsteile zugänglich sind, um eine Ausbesserung bzw. Erneuerung des Rostschutzmittels eventuell vornehmen zu können und um ein Trocknen feucht oder naß gewordener Stellen durch den freien Zutritt der Luft möglichst zu fördern. Ferner muß darauf geachtet werden, daß keine sog. Wassersäcke entstehen, d. h. offene Schlitz- und Fugen oder größere, freibleibende Räume, in denen sich das Wasser ansammeln kann. Zur Vermeidung solcher Wassersäcke sind Schlitz- und Fugen mit Futterblechen oder Asphaltkitt auszufüllen und größere Hohlräume durch Anordnung von Abflußöffnungen zu entwässern.

§ 5. Schutz von Eisenkonstruktionen gegen Feuer.³⁾ Obgleich das Eisen nicht brennbar ist, so können die Eisenkonstruktionen doch nicht zu den feuersicheren Konstruktionen gerechnet werden, da die eisernen Tragkonstruktionen bei Bränden nicht tragfähig bleiben, sondern die Festigkeit des Eisens bei einer Temperaturerhöhung von über 300° C sehr rasch abnimmt. So sinkt die Festigkeit bei 500° C auf die Hälfte herab. Durch solche Temperaturerhöhungen werden bei Walzeisen Ausbiegungen verursacht, die in der Regel allmählich, manchmal aber auch sehr plötzlich zunehmen, und den Einsturz des brennenden Gebäudes zur Folge haben. Gußeisen, das infolge seiner geringen Zugfestigkeit starke Ausbiegungen nicht verträgt, wird rissig und brüchig und stürzt dann ebenfalls zusammen. Es kann angenommen werden, daß bei ungefähr 500° C das Flußeisen, sowie das Gußeisen keine dauernde Tragfähigkeit mehr besitzen.

Hieraus folgt, daß die Zeit zwischen Ausbruch des Feuers und dem Einsturz der eisernen Tragkonstruktionen sehr kurz sein kann, und dies ganz besonders, wenn die Querschnittsabmessungen gering und die Querschnittsbildungen für den Angriff des Feuers günstig sind. Die Erfahrung und Versuche haben gezeigt, daß Holzstützen mit großen Querschnitten ihre Tragfähigkeit bedeutend länger bewahren, als ungeschützte Eisenkonstruktionen.

Um nun das Eisen auch bei den Hochbaukonstruktionen in weitestem Maße verwenden zu können, hat man die Feuersicherheit der Eisenkonstruktionen durch Ummantelung der tragenden und stützenden Teile mittels feuerfester, die Wärme schlecht leitenden Materialien wesentlich zu erhöhen gesucht. Bei Brandproben und wirklichen Bränden haben sich diese Ummantelungen auch als sehr vorteilhaft gezeigt, und so

³⁾ Siehe HAGEN: »Schutz von Eisenkonstruktionen gegen Feuer«, herausgegeben im Auftrage des Verbandes deutscher Architekten- und Ingenieur-Vereine, des Vereins deutscher Ingenieure und des Vereins deutscher Eisenhüttenleute. Berlin 1904.

kommen diese allgemein da zur Anwendung, wo es sich um einen guten Feuerschutz von Eisenkonstruktionen handelt.

Solche Feuerschutzummantelungen müssen die Eisenteile vor dem direkten Angriff des Feuers schützen und ferner die Übertragung der Wärme auf die Eisenteile bis zu einem gewissen Grade verhindern oder wenigstens möglichst lange hinausschieben. Das Ummantelungsmaterial muß also feuerbeständig sein und ein geringes Wärmeleitungsvermögen besitzen. Außerdem hat die Ummantelung das Eisen vor mechanischen Angriffen herabstürzender Bauteile und vor dem Auftreffen des Wasserstrahls zu schützen. Auch der Mantel selbst darf hierdurch nicht beschädigt werden. Es muß also der Schutzmantel eine große mechanische Festigkeit besitzen und mit Rücksicht hierauf wird man Hohlräume zwischen dem Eisen und dem Mantel vermeiden, die auch mit Rücksicht auf eine möglichst große Raumgewinnung nicht zu empfehlen sind.

Auf den Grad der Feuersicherheit ist es ohne wesentlichen Einfluß, ob der Mantel abnehmbar oder in dauerndem, festem Zusammenhang mit dem Eisenteil steht; doch ist es empfehlenswert, den Feuerschutzmantel noch durch eine 2 mm starke Eisenblechhülle zu schützen, wenigstens an den Stellen, die einer mechanischen Beschädigung im Betrieb oder bei Bränden besonders ausgesetzt sind. Auch gegen einen schädlichen Einfluß des Wasserstrahls sind diese Blechhüllen sehr vorteilhaft. Ist die Ummantelung nicht abnehmbar, so wird das geschützte Eisen der Überwachung entzogen, weshalb man zu solchen Ummantelungen nur ein Material verwenden soll, das mit Sicherheit eine Rostbildung oder chemische Umsetzung des Eisens verhindert.

Wie im § 4 schon angegeben, gibt Mörtel aus Portlandzement ein vorzügliches Rostschutzmittel ab, und da dieser gleichzeitig noch feuerbeständig ist und die Wärme schlecht leitet, so läßt er sich recht vorteilhaft zu unabnehmbaren Feuerschutzummantelungen verwenden.

Im Interesse einer rationellen Bauweise sollen die Ummantelungen die Kosten des gesamten Bauwerks nicht wesentlich erhöhen; d. h. die Beschaffungskosten des verwendeten Materials, sowie die Ausführungskosten dürfen nicht zu hoch sein.

Auf die verschiedenen Arten der Ausführung der feuersicheren Ummantelung kann Raummangels wegen hier nicht näher eingegangen werden, weshalb auf das in Anmerkung 3, S. 297 erwähnte Werk verwiesen wird. In diesem sind in zahlreichen Beispielen die gebräuchlichsten und wichtigsten Ummantelungen von Säulen und Unterzügen, die zahlreichen feuersicheren Decken, sowie feuersichere Dächer, Treppen, Wände und Türen vorgeführt und schließlich ist noch eine Kostenzusammenstellung der verschiedenen Ummantelungsarten für Säulen und Träger, sowie für feuersichere Decken beigefügt.

§ 6. Die Konstruktionsformen des Schmiedeeisens. Das Schweiß- und Flußeisen wird nach seiner Herstellung in verschiedene Grundformen, Konstruktionselemente, ausgewalzt oder ausgeschmiedet, aus denen die Eisenkonstruktionen zusammengesetzt werden. Diese Konstruktionselemente sind hauptsächlich: die Bleche, Stabeisen (Flacheisen, Quadrat- und Rundeisen), sowie die Profileisen oder Walzeisen. Hierzu kommen noch als besondere Formen: die Buckelplatten und Tonnenbleche, sowie die Riffel- und Wellbleche.

Die einzelnen Konstruktionselemente sind in verschiedenen Größen und Gewichten zu haben, und, solange die bestellten Stücke innerhalb bestimmter Grenzen des Gewichts oder der Größe bleiben, werden die Elemente zu einem bestimmten Einheitspreis, dem Grundpreis, geliefert. Für größere Längen und Gewichte als diese Normallängen oder Normalgewichte wird ein besonderer Preiszuschlag, der Überpreis, berechnet.

Die Normallängen der Walzeisen sind meist 4 bis 8, bei I-Eisen 4 bis 10 m. Die größten Längen, bis zu denen die einzelnen Profile ausgewalzt werden und für welche Überpreise zu zahlen sind, schwanken zwischen 12 und 16 m, bei I-Eisen zwischen 14 und 18 m. Die Lieferung noch größerer Längen bedarf einer besonderen Übereinkunft.⁴⁾

1. **Glatte Bleche.** Bleche mit Stärken bis zu 4,5 mm nennt man Feibleche, diejenigen mit 5 mm und mehr Grobbleche. Die Feibleche werden im Hochbau mitunter zu Verkleidungen, Ummantelungen usw. und als gelochte Bleche, Zierbleche, zur Verkleidung von Heizkörpern, Ausfüllung von Maueröffnungen usw. verwendet.

Für die eigentlichen Tragkonstruktionen des Eisenhochbaues kommen nur Grobbleche zur Anwendung und zwar mit Blechstärken von etwa 7 bis 20 mm; unter 7 bis 8 mm sollte man nicht gehen mit Rücksicht auf ein eventuelles Rosten, und größere Blechstärken als etwa 20 mm sind aus konstruktiven Gründen nicht empfehlenswert.

Der Grundpreis der Bleche richtet sich nach den Blechnummern, denn die normalen sowie die größten Maße und Gewichte sind für die verschiedenen Blechstärken verschieden, und zwar nehmen sie mit der Blechstärke zu.

2. **Stabeisen (Rund-, Quadrat-, Flacheisen usw.).** Die Stabeisen werden aus Schmiedeeisen in Längen von 3 bis 10 m gewalzt oder geschmiedet. Flacheisen ist rechteckiges Stabeisen von 5 bis 50 mm Dicke und 10 bis 131 mm Breite. Normallänge 6 m, Normalgewicht 200 kg. Eisen mit größerer Breite, von 131 bis 501 mm, bei Stärken von 5 mm und aufwärts, bezeichnet man als Universaleisen, das auf Universalwalzwerken hergestellt wird. Normallänge 12 m, Normalgewicht 500 kg. Dünnere Flacheisen unter 5 mm Stärke und bis 250 mm Breite, das bundweise und in größerer Länge verkauft wird, heißt Bändeisen.

3. **Walzeisen (Formeisen oder Profileisen).** Die Walzeisen werden in Deutschland fast ausschließlich aus Flußeisen gewalzt und nur auf besonderen Wunsch aus Schweiß-eisen hergestellt. Während früher die Walzwerke ihre eigenen Profilformen in den Handel brachten, werden heute die meisten Walzeisen in einheitlichen Profilen, den deutschen Normalprofilen⁵⁾ hergestellt, die zu den Eisenkonstruktionen tunlichst zu verwenden sind. In den Normalprofiltabellen (in Handbüchern, der »Hütte« usw.) sind für die verschiedenen Querschnittsformen, die Fertigprofile aufgeführt; Vorprofile (Zwischenprofile) können zu den Fertigprofilen hergestellt werden, sind jedoch nur für Winkel-eisen zu empfehlen. Die Profiltabellen enthalten die Abmessungen der Querschnittsflächen und Gewichte, sowie die Trägheits- eventuell auch Widerstandsmomente für die wichtigsten Achsen.

a) **Winkel-eisen.** Die Winkel-eisen sind Walzeisen mit 2 sog. Schenkeln. Je nach dem Winkel, den diese Schenkel miteinander bilden, unterscheidet man rechtwinkelige (Abb. 1 u. 3)⁶⁾, spitzwinkelige (Abb. 4) und stumpfwinkelige Eisen (Abb. 2). Bei gleichlangen Schenkeln spricht man von gleichschenkeligen, bei verschieden langen Schenkeln von ungleichschenkeligen

Abb. 1 bis 4. Winkel-eisen.

Abb. 1.

Abb. 2.

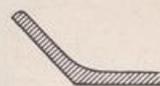
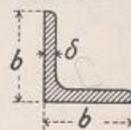
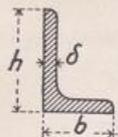


Abb. 3.

Abb. 4.



⁴⁾ Diese Angaben sind der »Hütte«, 19. Auflage, 1905, entnommen.

⁵⁾ Deutsches Normalprofilbuch, gemeinsam herausgegeben vom Vereine deutscher Ingenieure, vom Verbands deutscher Architekten- und Ingenieur-Vereine und vom Vereine deutscher Eisenhüttenleute.

⁶⁾ Die Abb. 1 bis 7, 9, 28, 380, 400 bis 402, 416 bis 419 sind entnommen aus ESSELBORN, »Lehrbuch des Tiefbaues«, Kap. VII: »Brückenbau«, bearbeitet von Geh. Baurat Prof. LANDSBERG, 3. Aufl. 1908.

Winkelisen. Die letzteren werden mit den Schenkelverh ltnissen $b:h = 1:1\frac{1}{2}$ und $b:h = 1:2$ hergestellt.

Bei Winkelisen bis 70 mm Schenkelbreite ist die Normallänge 8 m, bei solchen über 70 mm Schenkelbreite 10 m; bei ungleichschenkeligen Winkelisen gilt dasselbe in bezug auf den gr o ten der beiden Schenkel. Die gr o te Länge ist 20 m und mehr, je nach den Querschnitten. Auch werden Vorprofile mit gleichen Schenkelbreiten und 1 mm gr o erer Schenkelst rke gewalzt. Die gewöhnliche Schreibweise für Winkelisen ist $\overline{b \cdot b \cdot \delta}$ bzw. $\overline{b \cdot h \cdot \delta}$. Die Normalprofilnummer gibt die Schenkelbreite in Zentimetern an.

b) T-Eisen. Bei den deutschen Normalprofilen der T-Eisen unterscheidet man breitf u ige, $h:b = 1:2$ (Abb. 5) und hochstegige T-Eisen, $h:b = 1:1$ (Abb. 6). Die Breite b nennt man die Fußbreite, die Höhe h die Steghöhe. Die Normallänge beträgt 8 m, die gr o ten Längen sind 12 bis 16 m.

c) I-Eisen sind die meist verwendeten Walzbalken. Sie eignen sich durch ihre Form sehr vorteilhaft für auf Biegung beanspruchte Träger.

Die Profile (Abb. 7) bestehen aus einem Steg und 2 Flanschen. Die Querschnittsh hen der verschiedenen Profile in Zentimetern stellen zugleich die Profilnummern dar. Das kleinste Normalprofil ist Nr. 8, das gr o te Nr. 55.

Neuerdings werden von verschiedenen Walzwerken auch Profile mit 60 cm Querschnittshöhe hergestellt. Normallängen 4 bis 10 m, gr o te Längen 14 bis 18 m.

Diese I-Profile haben sich im allgemeinen gut bewährt, doch ist wegen der im Verhältnis zur Höhe schmalen Flanschen die seitliche Steifigkeit eine sehr geringe, so daß ihre Verwendung zu Stützen sehr unzweckmäßig ist. Es machte sich so ein Bedürfnis nach breitflanschigen Profilen geltend, und es wurde von GREY ein besonderes Universalwalzwerk für breitflanschige Träger (Abb. 8) konstruiert. Ein derartiges Walzwerk ist seit 1902 auf der Differdinger H tte im Betrieb und es werden solche Profile auch kurzweg Differdinger Profile genannt. Diese Differdinger Profile werden von

Abb. 5 u. 6. T-Eisen.

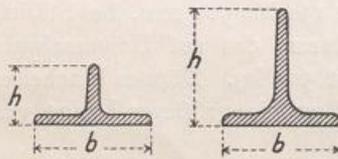


Abb. 8. Breitflanschige I-Eisen.

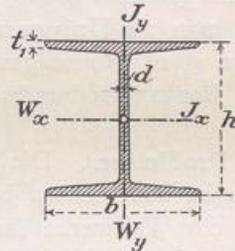


Abb. 7. I-Eisen.

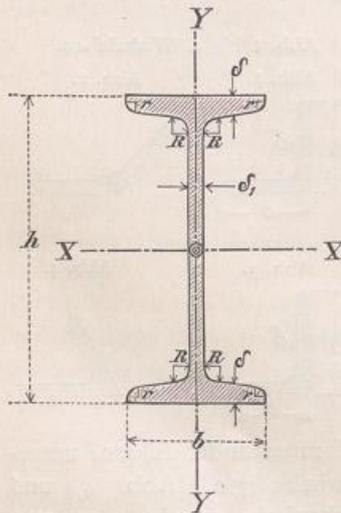
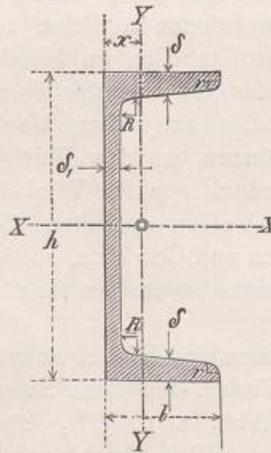


Abb. 9. C-Eisen.



Nr. 24 bis Nr. 75 hergestellt, wobei die Profilnummer wieder die Querschnittshöhe in Zentimetern angibt. Bis zu Nr. 30 ist die Flanschbreite gleich der Querschnittshöhe selbst; bei den Profilen über Nr. 30 bleibt die Flanschbreite unveränderlich 30 cm.

d) C-Eisen. Die Profilnummern der C-Eisen (Abb. 9), die den Höhen in Zentimetern entsprechen, liegen innerhalb der Grenzen 3 und 30; als Normallängen gelten diejenigen von 4 bis 8 m, und die gr o ten Längen sind 12 bis 16 m.

e) Γ -Eisen (Abb. 10). Die Grenzprofile sind die Profile Nr. 3 und Nr. 20. Auch hier ist die Nummer gleich der Höhe in Zentimeter. Normallängen sind 4 bis 8 m, größte Längen 12 bis 16 m.

Abb. 10. Γ -Eisen.

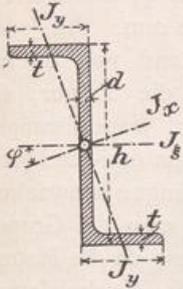


Abb. 11. Belageisen.

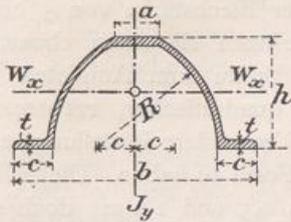
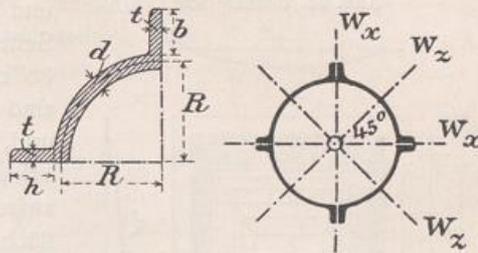


Abb. 12 u. 13. Quadranteisen.



f) *Belageisen (Zores-Eisen)*. Die Belageisen (Abb. 11) können im Hochbau zur Konstruktion von Decken und auch als Rinneneisen usw. Verwendung finden; besonders aber dienen sie zur Herstellung der Fahrbahn- und Fußwegtafeln bei eisernen Brücken.

g) *Quadranteisen* (Abb. 12). Die Profilnummern, zwischen Nr. 5 und Nr. 15, geben den mittleren Radius R an; die Normallängen sind 4 bis 8 m, die größten Längen 12 bis 16 m. Sie eignen sich ganz besonders zur Herstellung schmiedeeiserner Säulen und Rohre (Abb. 13). Auch sind Vorprofile mit 1 mm größeren Wandstärken erhältlich.

h) *Handleisten- oder Geländereisen* (Abb. 14). Die Profilnummern 4, 6, 8, 10 und 12 geben die Breite B in Zentimetern an. Sie sind erhältlich in Normallängen von 4 bis 8 m und in größeren Längen von 12 bis 16 m.

Abb. 14. Geländereisen.

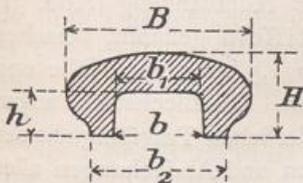
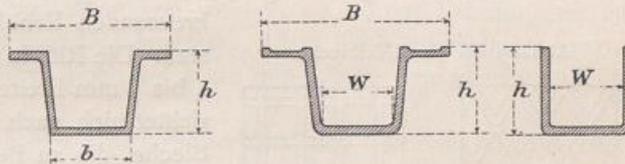


Abb. 15 bis 17. Rinneneisen.



Außer diesen aufgeführten deutschen Normalprofilen kommen im Hochbau noch verschiedene andere Walzeisenformen zur Verwendung, wie z. B.:

i) *Rinneneisen* (Abb. 15 bis 17), die bei den Dachkonstruktionen hauptsächlich bei Glasdeckungen (Sparrenrinnen) und Oberlichtern angewendet werden.

Abb. 18 u. 19. T-förmige Sprosseneisen.

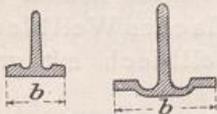
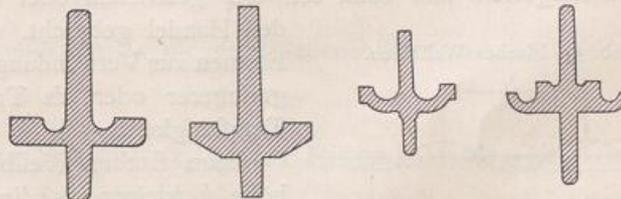


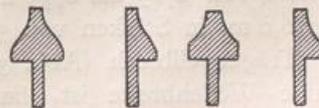
Abb. 20 bis 23. Kreuzförmige Sprosseneisen.



k) *Sprosseneisen*, ebenfalls für Glasdeckungen. Man unterscheidet T-förmige (Abb. 18 u. 19) und kreuzförmige Sprossen (Abb. 20 bis 23).

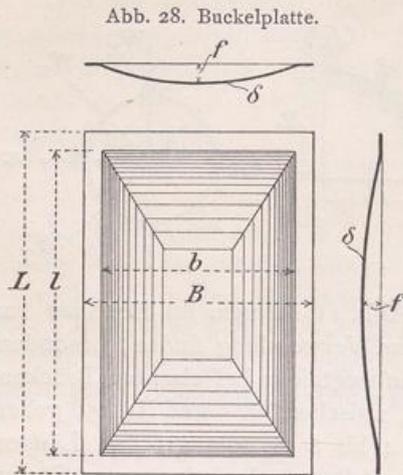
Abb. 24 bis 27. Fenstereisen.

l) *Fenstereisen*. Diese sind als ganze (Abb. 24 u. 26) und halbe Fenstereisen (Abb. 25 u. 27) zu haben.



Des weiteren wären noch die Zierleisteneisen zu erwähnen, die nur dekorativen Zwecken dienen.

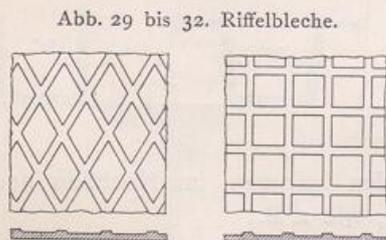
4. Buckelplatten und Tonnenbleche. Die Buckelplatten, auch Trogbleche genannt (Abb. 28), werden aus Flußeisen hergestellt und sind nach Art der Kloostergew lbe



gebildet, mit einem Stich von $\frac{1}{10}$ bis $\frac{1}{15}$ der Breite b und einer Blechstärke von 5 bis 10 mm. An jeder Seite besitzen sie einen ebenen Rand von 60 bis 80 mm Breite zum Aufnieten auf die Träger; sie sind in quadratischer, rechteckiger, trapezförmiger und, auf besondere Bestellung, auch in drei- und vieleckiger Form zu haben. Die Seitenlängen schwanken zwischen 0,5 und 2,0 m; doch soll man die Grundfläche nicht über 2 bis 2,25 qm wählen, da die Platten sonst zu unhandlich werden. Die Buckelplatten dienen hauptsächlich zur Herstellung von Abdeckungen, besonders zum Belegen eiserner Brücken.

Die Tonnenbleche, die auch H ngebleche heißen, sind nach Art der flachen Kappen mit einem Stich von $\frac{1}{8}$ bis $\frac{1}{12}$ aus Flußeisen geformt. Sie werden ähnlich wie die Buckelplatten zu Abdeckungen benutzt und sind in rechteckiger Grundform in allen Abmessungen, von 0,5 bis 3,0 m Länge und 0,5 bis 2,0 m Breite, in Blechstärken von 5 bis 10 mm zu haben. Zum Auflagern und Annieten besitzen sie an jeder Längsseite einen ebenen Rand von 60 bis 80 mm Breite.

5. Riffelbleche oder gerippte Bleche. Abb. 29 bis 32 sind ebene Bleche, die auf der einen Seite mit geradlinigen,

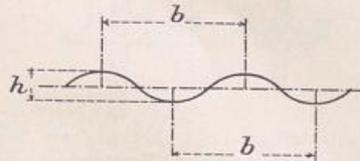


sich schräg (Abb. 29) oder rechtwinkelig (Abb. 31) kreuzenden Erhöhungen, Riffeln genannt, versehen sind. Die Riffeln werden in 1,5 bis 3 mm Höhe und 4 bis 5 mm Breite hergestellt. Die Blechstärke selbst richtet sich nach der erforderlichen Tragfähigkeit der Bleche, die zu Belagzwecken und Abdeckungen aller Art benutzt werden. Die Riffeln sollen die Oberfläche rauh gestalten, um ein Ausgleiten möglichst zu verhindern. Ähnliche Verwendung finden auch die Warzenbleche, bei denen die Oberfläche nicht

durch Riffeln, sondern durch warzenförmige Erhöhungen rauh gehalten wird.

6. Wellbleche werden meist durch Wellung von Feinblech in verschiedenen Tafelgr o en hergestellt und dann schwarz, gestrichen oder verbleit, meist aber verzinkt in den Handel gebracht. Das Wellblech kommt in zwei Formen zur Verwendung: Als flaches Wellblech mit geringerer oder als Trägerwellblech mit gr o erer Tragfähigkeit.

Abb. 33. Flaches Wellblech.

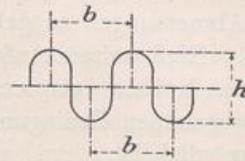


Beim flachen Wellblech (Abb. 33) ist die Wellenhöhe h kleiner als die halbe Wellenbreite. Es wird hauptsächlich zu Dachdeckungen benutzt und ist in Tafeln von 0,65 bis 0,95 m Breite und 2,0 bis 3,0 m Länge, mit Preisaufschlag auch bis 6,0 m, in Stärken von 5 bis 12,5 mm erhältlich.

Trägerwellblech (Abb. 34), bei dem die Wellenhöhe gleich oder gr o er als die halbe Wellenbreite ist, findet besonders bei Deckenkonstruktionen und Wellblech-

konstruktionen reichliche Anwendung, dagegen zur Dachdeckung nur bei größeren Pfettenabständen. Die gewöhnliche Tafellänge ist 3,0 bis 4,0 m, die größte Länge 6,0 m; die Tafelbreite richtet sich nach dem Profil und schwankt zwischen 0,45 und 0,9 m, die erhältlichen Blechstärken sind 1 bis 5 mm. Das Trägerwellblech wird gerade oder gewölbt (bombiert) benutzt. Gewölbtcs Wellblech trägt bei gleichmäßiger Belastung und bei einem Stich von $\frac{1}{12}$ bis $\frac{1}{10}$ (wegen der gewölbartigen Wirkungsweise) etwa das 8 bis 10fache der zulässigen Last des geraden Wellblechs.

Abb. 34. Trägerwellblech.



§ 7. Die Prüfung des Eisens. Die Eigenschaften, die das zu baulicher Verwendung kommende Eisen erfüllen soll, und die Prüfung des Eisens auf diese erforderlichen Eigenschaften sind festgelegt in den vom Vereine deutscher Eisenhüttenleute aufgestellten »Vorschriften für die Lieferung von Eisen und Stahl«⁷⁾.

Mit diesen Vorschriften stimmen die auf S. 293 schon erwähnten »Normalbedingungen für die Lieferung von Eisenkonstruktionen für Brücken- und Hochbau«⁸⁾, soweit zugänglich, überein. In diesen Normalbedingungen heißt es unter I. das Prüfungsverfahren: »Für die Beurteilung des Materials sind Zerreiß-, Biege- und Bearbeitungsproben maßgebend. Mit sichtbaren Fehlern behaftete Probestäbe dürfen nicht verwendet werden.

Die Stäbe für Zerreißproben sind von dem zu untersuchenden Eisen kalt abzutrennen und kalt zu bearbeiten. Die Wirkungen etwaigen Scherenschnitts, sowie des Auslochens oder Aushauens sind zuverlässig zu beseitigen. Ausglühen ist, wenn das Gebrauchsstück nicht ebenfalls ausgeglüht wird, zu unterlassen.

Auf den Probestäben ist die Walzhaut möglichst zu belassen.

Die Probestäbe sollen in der Regel eine Versuchslänge von 200 mm bei 300 bis 500 qmm Querschnitt haben. Bei Rundstäben von weniger als 20 mm Durchmesser ist die Versuchslänge gleich dem zehnfachen Durchmesser. Über die Versuchslänge hinaus haben die Probestäbe nach beiden Seiten noch auf je 10 mm Länge den gleichen Querschnitt.

Wenn bei Ausführung der Probe der Bruch außerhalb des mittleren Drittels der Versuchslänge des Stabes erfolgt, so ist die Probe zu wiederholen, falls die Dehnung ungenügend ausfällt.

Die Zerreißmaschinen müssen leicht und sicher auf ihre Richtigkeit geprüft werden können.

Zu Biegeproben sind Materialstreifen von 30 bis 50 mm Breite oder Rundeisenstäbe von einer der Verwendung entsprechenden Dicke zu benutzen. Die Probestücke müssen auf kaltem Wege abgetrennt werden. Die Kanten der Streifen sind abzurunden.«

Näheres über die einzelnen Probearten für die verschiedenen Eisensorten ist aus den angegebenen Quellen ersichtlich.

B. Die Grundlagen für die Berechnung der Eisenkonstruktionen.

§ 8. Aufgabe und Wesen der Berechnung. Die Aufgabe der Berechnung der Hochbaukonstruktionen beruht auf den Gesetzen des Gleichgewichts und besteht in der Untersuchung der Bedingungen, die erfüllt sein müssen, damit die Konstruktionen

⁷⁾ Zu beziehen vom Kommissionsverlage von AUGUST BAGEL in Düsseldorf.

⁸⁾ Zu beziehen von W. ERNST & SOHN, Berlin W., Wilhelmstr. 90.

den auf sie wirkenden äußeren Kräften das Gleichgewicht halten können. Es sind also zunächst die äußeren Kräfte für die möglichen, denkbar ungünstigsten Belastungsweisen und dann die durch diese Belastungen erzeugten Auflagerkräfte und inneren Kräfte zu ermitteln und schließlich hiernach den einzelnen Konstruktionsteilen die erforderlichen Abmessungen zu geben.

Eine weitere Aufgabe der Berechnung ist die, den Konstruktionen eine den auftretenden Kräften entsprechende möglichst günstige Form zu verleihen, soweit dies durch die gegebenen Bedingungen und Verhältnisse, wie schönes Aussehen, Raumausnutzung usw., möglich ist.

Die äußeren Kräfte zerfallen in Belastungen und Lagerreaktionen. Die Belastungen setzen sich zusammen aus Eigengewicht (ständige Last) und zufälliger Belastung.

Die Eigengewichte sind vor der Berechnung der Konstruktionen nicht bekannt und man muß diese nach ähnlichen Konstruktionen schätzen oder durch angenäherte überschlägliche Berechnungen annähernd ermitteln. Für in der Praxis sich oft wiederholende Konstruktionen, wie Decken, Dächer usw., hat man auch Eigengewichtstabellen aufgestellt, die in den verschiedenen Hand- und Lehrbüchern, in der »Hütte« usw. angegeben sind. Bei der Besprechung der einzelnen Konstruktionen wird hierauf noch näher eingegangen werden.

Die zufälligen Lasten sind hauptsächlich Nutz- und Verkehrslasten, sowie andere, durch die Natur bedingte, zeitweise auftretende Kräfte, wie Schneelast, Winddruck usw. Die Nutz- und Verkehrslasten treten besonders bei Deckenkonstruktionen auf, und zwar bestehen sie für Wohn- und öffentliche Räume, wie Säle, Theater und Versammlungsräume, meist in der Belastung durch Menschengedränge, während sie bei Lagerräumen, Speichern usw. sehr oft durch die aufgestapelten Waren, Maschinen usw. gebildet werden. Für Dächer und Türme sind hauptsächlich die Windkräfte und eventuell auch Schneelast als zufällige Lasten von wesentlichem Einfluß.

Aber nicht allein die Belastungsgrößen, sondern auch die Belastungsart der zufälligen Lasten kann auf die ungünstigste Beanspruchung der Konstruktion von Bedeutung sein. So ist z. B. genau zu untersuchen, ob die volle oder die einseitige Belastung die ungünstigste Belastungsart für die vorliegende Konstruktion ist und die sich ergebende ungünstigste Belastungsart muß der Berechnung zugrunde gelegt werden. Außerdem ist noch festzustellen, ob die Belastung durch zufällige Last mit Erschütterungen und Stößen oder allmählich, ohne Erschütterung erfolgt; denn stoßweise wirkende Kräfte erfordern eine besondere Beachtung, da sie auf die Wahl des Materials (kein Gußeisen) und die Höhe der zulässigen Materialbeanspruchung von Einfluß sind.

Nachdem so die ungünstigsten äußeren Belastungen ermittelt sind, müssen zunächst die hierzu gehörigen Auflagerreaktionen und dann die durch die Belastungen und Auflagerreaktionen erzeugten inneren Kräfte berechnet werden. Zur Ermittlung der Lagerreaktionen und inneren Kräfte genügen im allgemeinen die Gleichgewichtsbedingungen (statisch bestimmte Konstruktionen); ist dies nicht der Fall, so muß zur Berechnung der durch das Gleichgewicht nicht bestimmaren Unbekannten die Elastizitätslehre zu Hilfe genommen werden (statisch unbestimmte Konstruktionen). Auf die verschiedenen Methoden der rechnerischen und graphischen Bestimmung der Reaktionen und inneren Kräfte wird in den Abschnitten IV und V dieses Kapitels etwas näher eingegangen.

§ 9. Die Grundbegriffe der Elastizitäts- und Festigkeitslehre und die Beanspruchungsarten des Eisens. Das Eisen gehört zu den elastischen Körpern, d. h. es hat die Eigenschaft, unter Einwirkung von Kräften seine Form zu ändern und nach Aufhören der Kräftewirkungen seine frühere Gestalt mehr oder weniger wieder

anzunehmen. Derjenige Teil der Formänderung oder Deformation, der wieder verschwindet, nennt man elastische Formänderung; der nichtverschwindende Teil wird dauernde oder bleibende Formänderung genannt. Die gesamte Formänderung ist eine Folge der durch die äußeren Kräfte erzeugten inneren Kräfte, die man, auf die Flächeneinheit bezogen, als Spannung bezeichnet.

Bleibt man bei Schweiß Eisen, Flußeisen und Stahl mit diesen Spannungen innerhalb einer gewissen Grenze, der Proportionalitätsgrenze, so wachsen die Deformationen direkt proportional den Spannungen. Eine weitere charakteristische Spannungsgrenze ist die Elastizitätsgrenze; solange die Spannungen innerhalb dieser Grenze bleiben, erscheint der Körper elastisch; d. h. die bleibenden Deformationen sind so gering, daß sie vernachlässigt werden können. Bei Schweiß Eisen, Flußeisen und Stahl fallen Elastizitäts- und Proportionalitätsgrenze zusammen.

Wachsen die Spannungen über diese Grenzen hinaus, so nehmen die Deformationen nicht mehr proportional den Spannungen, sondern auf Kosten größerer bleibender Formänderungen wesentlich rascher zu, bis schließlich eine schon mit bloßem Auge merkbare Formänderung des Materials eintritt (Fließ- oder Streckgrenze) und schließlich eine Zerstörung des Körpers erfolgt (Bruchgrenze).

Die Spannung, die ein Körper höchstens erleiden kann, ehe er zerstört wird, nennt man den Festigkeitskoeffizienten des Materials (auch kurzweg Festigkeit).

Für Gußeisen, auch für Beton, Zementmörtel und Steine, gilt das Proportionalitätsgesetz nicht; es ist keine Proportionalitätsgrenze vorhanden, d. h. die Deformationen wachsen hier nicht direkt proportional den Spannungen; auch nicht unterhalb einer gewissen Grenze.

Für die Betrachtung der verschiedenen Beanspruchungsarten seien stabförmige Körper zugrunde gelegt, d. h. Körper, deren Längenabmessungen wesentlich größer sind als die Querabmessungen. Unter dem Querschnitt eines stabförmigen Körpers versteht man einen Schnitt senkrecht zur Längsrichtung. Die Verbindungslinie der Schwerpunkte sämtlicher Querschnitte des Körpers nennt man Achse. Bei gerader Achse spricht man von einem geraden, bei krummer Achse von einem krummen stabförmigen Körper.

Je nach der Wirkung der Kräfte zu der Achse eines stabförmigen Körpers unterscheidet man verschiedene Arten der Beanspruchungen und der Festigkeit, und zwar Beanspruchung auf Zug und Druck, Beanspruchung auf Schub (Abscherung), Beanspruchung auf Biegung und Beanspruchung auf Verdrehung oder Torsion, und dementsprechend auch Festigkeit gegen Zug und Druck, gegen Schub, gegen Biegung und Torsion.

1. Beanspruchung auf Zug und Druck tritt auf, wenn die äußeren Kräfte in die Richtung der Achse fallen, wenn sie also eine Verschiebung der Querschnitte derart verursachen, daß diese zwar parallel bleiben, aber ihre Abstände voneinander in der Richtung der Achse verändern und zwar bei Zug vergrößern, bei Druck verringern.

Zug- oder Druckfestigkeit ist diejenige Zug- oder Druckspannung, d. h. die auf die Flächeneinheit wirkende Kraft, die unmittelbar vor der Zerstörung durch reinen Zug oder Druck vorhanden ist.

2. Beanspruchung auf Schub oder Abscherung tritt auf, wenn die Kräfte zwei unmittelbar nebeneinander liegende Querschnitte gegeneinander senkrecht zur Achse verschieben wollen, so daß ihre Entfernung in der Richtung der Achse nicht geändert wird.

Schubfestigkeit ist die unmittelbar vor der Zerstörung des Körpers durch Schub in dem Abscherungsquerschnitt auftretende Schubspannung.

3. **Beanspruchung auf reine Biegung** tritt auf, wenn die äußeren Kräfte zwei benachbarte Querschnitte gegeneinander so verdrehen wollen, daß diese nach der Verdrehung nicht mehr parallel sind; bei dieser Verdrehung ändern sich jedoch die Abstände ihrer Schwerpunkte nicht.

Biegungsfestigkeit ist diejenige Biegungsspannung, die in den äußersten Fasern, der auf Biegung beanspruchten Querschnitte unmittelbar vor der Zerstörung des Körpers durch Biegung vorhanden ist.

4. **Verdrehungs- oder Torsionsbeanspruchung** tritt auf, wenn die äußeren Kräfte zwei unmittelbar nebeneinanderliegende Querschnitte um die Achse des Körpers so verdrehen wollen, daß die Querschnitte parallel bleiben und ihren Abstand in der Richtung der Achse nicht ändern.

Torsionsfestigkeit ist die unmittelbar vor der Zerstörung des Körpers durch Torsion an der Bruchstelle auftretende Torsionsspannung. Die Torsionsbeanspruchung ist für die Hochbaukonstruktionen von untergeordneter Bedeutung, und soll hierauf an dieser Stelle nicht näher eingegangen werden.

Treten von den erwähnten Beanspruchungen zwei oder mehr gleichzeitig auf, so spricht man von zusammengesetzter Beanspruchung und demgemäß auch von zusammengesetzter Festigkeit.

In der Praxis handelt es sich nun weniger um die Festigkeiten für die verschiedenen Beanspruchungsweisen als um die betreffende zulässige Inanspruchnahme. Unter dieser letzteren versteht man diejenige Kraft für ein qcm, die man dem Material mit Sicherheit auf die Dauer zumuten kann. Für die Wahl dieser zulässigen Beanspruchung ist die Elastizitätsgrenze maßgebend, und zwar soll diese niemals erreicht oder gar überschritten werden. Um nun aber unvorhergesehenen Überbelastungen oder Materialänderungen Rechnung zu tragen, führt man einen Sicherheitskoeffizienten ein, indem man mit der zulässigen Beanspruchung nur bis zu einem Bruchteil der Elastizitätsgrenze herangeht, z. B. $\frac{1}{2}$ bis $\frac{2}{3}$.

Näheres über die zulässigen Beanspruchungen für die verschiedenen Beanspruchungsarten findet sich in § 10. Für solche Konstruktionen, die einem plötzlichen Belastungswechsel unterworfen sind und bei denen die Belastungen mit Erschütterung oder Stößen verbunden auftreten, nimmt man die zulässige Beanspruchung geringer an als bei den durch ruhende Belastung beanspruchten Konstruktionen; man rechnet dann noch mit einem sog. Stoßkoeffizienten, indem man als zulässige Beanspruchung einen weiteren Bruchteil der zulässigen Beanspruchung für ruhende Lasten einführt, oder die stoßend wirkenden Lasten mit einem größeren Wert in Rechnung stellt.

Bei der Belastung der Konstruktion spielt noch der Elastizitätsmodul oder die Elastizitätszahl eine wesentliche Rolle. Diese Zahl gibt uns ein Bild von der Widerstandsfähigkeit des Materials gegen Deformationen; je größer der Elastizitätsmodul ist, desto widerstandsfähiger ist das Material gegen elastische Deformationen.

Die Größe (E) der Elastizitätszahl für die verschiedenen Materialien hat man durch Versuche bestimmt und hat als Mittelwert für Fluß-, Schweißisen und Stahl gefunden $E = 2000000$ kg/qcm, für Gußeisen 1000000 kg/qcm.

§ 10. Berechnungsweise für die verschiedenen Beanspruchungsarten.

1. **Zug- und Druckfestigkeit (Normalspannung, Normalfestigkeit).** Wirken auf einen stabförmigen, geradachsigen Körper äußere Kräfte in der Stabachse, so erzeugen diese eine über den ganzen Querschnitt gleichmäßig verteilte Zug- oder Druckbeanspruchung, je nachdem die Kräfte dem Körper eine positive Verlängerung oder eine negative Verlängerung (Verkürzung) zu erteilen bestrebt sind. Hat der Stab konstanten

Querschnitt und ist F die Querschnittsfläche in qcm, P die Größe der Kraft in kg, so ist die Spannung in diesem Querschnitt

$$\sigma = \frac{P}{F} \text{ kg/qcm.} \quad (1)$$

Diese Spannung darf nun die zulässige Beanspruchung nicht überschreiten. Bezeichnet man diese mit k , und soll der Stab für eine vorliegende Kraft P dimensioniert werden, so ergibt sich als erforderliche Querschnittsfläche

$$F = \frac{P}{k}. \quad (2)$$

Die zulässige Beanspruchung auf Zug sei k_z ,
 » » » » Druck » k_d .

Für ruhende Belastung kann man als zulässige Beanspruchung $\frac{2}{3}$ der Elastizitätsgrenze einführen. Da nun die

Elastizitätsgrenze bei Schweißeisen für Zug und Druck = rund 1600 kg/qcm

» » Flußeisen » » » » = » 2000 » ,

so sind die zulässigen Beanspruchungen auf Zug und Druck für ruhende Belastung:

bei Schweißeisen $k_z = k_d = \frac{2}{3} \cdot 1600 = 1050 \text{ kg/qcm}$

» Flußeisen $k_z = k_d = \frac{2}{3} \cdot 2000 = 1350 \text{ »}$

Bei stoßend wirkender Belastung wählt man die zulässige Beanspruchung nur $\frac{2}{3}$ bis $\frac{3}{4}$ so hoch als bei ruhender Belastung, demnach:

bei Schweißeisen $k_z = k_d = \frac{2}{3} \cdot 1050 = 700 \text{ kg/qcm}$

» Flußeisen $k_z = k_d = \frac{2}{3} \cdot 1350 = 900 \text{ »}$

Bei Gußeisen liegt die Elastizitätsgrenze für Zug bei rund 650 kg/qcm und für Druck bei rund 1700 kg/qcm. Jedoch werden die zulässigen Beanspruchungen beim Gußeisen wegen seiner Sprödigkeit verhältnismäßig viel geringer angenommen als bei Schmiedeeisen, und zwar ist allgemein festgesetzt:

Zulässige Beanspruchung auf Zug 250 kg/qcm

» » » Druck 500 »

Diese Werte gelten nur für ruhende Belastung; für stoßende Belastung darf Gußeisen keine Verwendung finden.

Die folgende Tabelle gibt übliche Mittelwerte für die zulässigen Beanspruchungen, sowie für die Elastizitätszahlen und spezifischen Gewichte der verschiedenen Eisensorten an, wobei Schweißeisen und Flußeisen als Schmiedeeisen zusammengekommen sind.

Tabelle: Zulässige Beanspruchungen, Elastizitätszahlen und spezifische Gewichte der verschiedenen Eisensorten.

Material	Zulässige Beanspruchungen in kg/qcm				Elastiz. Mod. kg/qcm	Spez. Gew. in kg/cbm
	bei stoßender Belastung		bei ruhiger Belastung			
	Zug	Druck	Zug	Druck		
Gußeisen	—	—	250	500	1 000 000	7250
Schmiedeeisen	750	750	1000	1000	2 000 000	7800
Stahl	1500	1500	1500—1800	1800—2000	2 000 000	7850

Wie schon in § 9 angeführt wurde, tritt mit jeder Beanspruchung eine Formänderung auf, die bei Schmiedeeisen und Stahl innerhalb der Elastizitätsgrenze proportional der

Spannung wächst. Dieses Elastizitätsgesetz lautet für einen Stab mit konstantem Querschnitt

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{\sigma}{E}, \quad (3)$$

worin l die ursprüngliche Stablänge und Δl gleich der Verlängerung des Stabes ist.

Hierin nach Formel 1 für σ den Wert $\frac{P}{F}$ eingesetzt, ergibt

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{P}{F \cdot E},$$

woraus sich die Gesamtverl ngerung des Stabes findet:

$$\Delta l = \frac{P \cdot l}{E \cdot F}. \quad (4)$$

Mit jeder Längenänderung ist eine Quer nderung verbunden, und zwar im entgegengesetzten Sinne, d. h. einer positiven Längenänderung entspricht eine negative Quer nderung und umgekehrt. Sind die Querabmessungen des prismatischen Stabes a und b , so ist

$$\frac{\Delta a}{a} = \frac{1}{m} \cdot \frac{\Delta l}{l} \quad \text{und} \quad \frac{\Delta b}{b} = \frac{1}{m} \cdot \frac{\Delta l}{l}.$$

m ist für alle Körper, die nach allen Seiten gleich elastisch sind, also auch für Eisen, annähernd eine Zahl zwischen 3 und 4, für Schmiedeeisen und Stahl empfiehlt sich der Wert $m = 3$.

Bei einem Stab mit nicht konstantem Querschnitt hat man bei der Dimensionierung oder Spannungsberechnung die schwächste Stelle ins Auge zu fassen, d. h. den Nettoquerschnitt zu berechnen. So ist z. B. bei Eisenkonstruktionen an den Anschluß- und Stoßstellen der Stabquerschnitt durch die Niet- oder Schraubenlöcher geschwächt und diese Schwächungen sind bei der Dimensionierung zu berücksichtigen, indem der wirkliche Stabquerschnitt um diese Schwächung größer zu nehmen ist, als die berechnete, erforderliche Querschnittsfläche. Dieser Zuschlag für die Schwächung kommt hauptsächlich bei den gezogenen St ben in Betracht, weniger bei den gedruckten; denn hier ist die Schwächung in den meisten Fällen durch die Verbindungsmittel wieder ausgef llt.

Dagegen ist bei gedruckten St ben gegen die Gefahr des Ausknickens vorzubeugen, d. h. es ist die Knicksicherheit bei gedruckten St ben nachzuweisen. Ein vollkommen gleichartiger, geradachsiger Stab, der genau zentrisch belastet ist, dürfte theoretisch kein Ausknicken erleiden; da aber praktisch diese Bedingungen nicht erfüllbar sind, so haben diese Abweichungen von der theoretischen Form und Art der Belastung ein Ausbiegen des Stabes zur Folge, wenn nicht nach allen Seiten eine genügende Steifigkeit vorhanden ist. Einen Ausdruck für diese nach jeder Seite hin mindestens nötige Steifigkeit ist gegeben in der EULERSchen Knickformel:

$$J_{\min} \geq \frac{s \cdot l^2 \cdot P}{C \cdot E}. \quad (5)$$

Hierin bedeutet J_{\min} das kleinste Trägheitsmoment in cm^4 , s den Sicherheitsgrad, l die freie Stablänge in cm, P die Stabkraft in kg, C eine Konstante, die von der Endbefestigung des Stabes abhängt und E den Elastizitätsmodul.

In bezug auf die Konstante C unterscheidet man 4 Arten von Endbefestigungen und somit 4 Knickfälle:

1. Der Stab ist am einen Ende eingespannt und am anderen Ende frei (Abb. 35)⁹⁾

$$C = \frac{\pi^2}{4}$$

2. Der Stab ist an beiden Enden gelenkartig gehalten (Abb. 36)

$$C = \pi^2$$

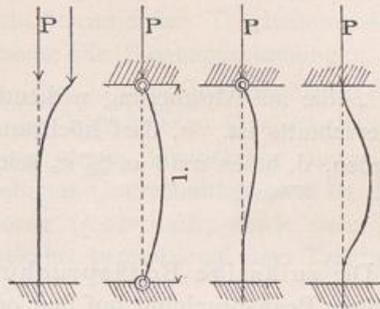
3. Der Stab ist am einen Ende eingespannt und am anderen gelenkartig gehalten (Abb. 37)

$$C = 2 \cdot \pi^2$$

4. Der Stab ist an beiden Enden eingespannt (Abb. 38)

$$C = 4\pi^2$$

Abb. 35 bis 38. Die 4 Knickfälle.



In der Praxis spielt der Fall 2, bei dem die beiden Stabenden gelenkartig gehalten sind, und für den die Konstante $C = \pi^2$ ist, eine vorwiegende Rolle. Denn für die meisten Konstruktionsteile, wie Fachwerksstäbe, Stützen usw. wird für die Berechnung derselben eine gelenkartige Endbefestigung angenommen und oft eine solche auch ausgeführt. Setzt man für diesen 2. Knickfall in die EULERSche Formel den Wert $C = \pi^2$ oder 10, die Stabkraft in Tonnen und die freie Länge in Metern ein, so ergibt sich nach Formel 5 für Schmiedeeisen und Stahl, für die $E = 2000000 \text{ kg/qcm}$ ist, und für eine 5fache Sicherheit ($s = 5$):

$$J_{\min} \geq \frac{5 \cdot l^2 \cdot 100 \cdot 100 \cdot P \cdot 1000}{10 \cdot 2000000}$$

und hieraus die einfache Formel:

$$J_{\min} \geq 2,5 \cdot P \cdot l^2, \quad (6)$$

worin P in t und l in m einzusetzen ist.

Für Gußeisen, für das $E = 1000000 \text{ kg/qcm}$ ist und für das eine 8fache Sicherheit ($s = 8$) verlangt wird, ergibt sich der Wert

$$J_{\min} \geq \frac{8 \cdot l^2 \cdot 100 \cdot 100 \cdot P \cdot 1000}{10 \cdot 1000000}, \text{ oder} \\ J_{\min} \geq 8 \cdot P \cdot l^2. \quad (7)$$

Auch hier ist P in t und l in m einzusetzen.

Liegt ein anderer Knickfall vor, so kann dieser aus Fall 2 leicht durch einfache Multiplikation mit der Verhältniszahl der Konstanten geschehen. Z. B. bei Fall 1 muß J_{\min} viermal so groß und bei Fall 3 nur halb so groß sein als bei Fall 2, wenn man die gleiche Knicksicherheit erhalten will.

Der Vorgang bei der Berechnung gedrückter Stäbe ist folgender: Zunächst wird die erforderliche Querschnittsfläche $F = \frac{P}{k}$ ermittelt und diese, wenn möglich so angeordnet, daß das für die Knicksicherheit erforderliche, kleinste Trägheitsmoment mindestens vorhanden ist. Genügt trotz geschickter Anordnung die berechnete Querschnittsfläche nicht zur Erzielung der verlangten Steifigkeit, so muß man zur Erreichung des erforderlichen J_{\min} die Querschnittsfläche entsprechend vergrößern.

⁹⁾ Die Abb. 35 bis 38, 89, 90, 115 bis 119, 128, 129, 145, 146, 227, 234, 255, 256, 271 bis 274, 279, 280, 286 bis 291, 302 bis 304, 308 bis 322, 332 bis 337, 340 bis 342, 356 bis 359, 383 bis 386, 399, 420, 421 und 459 bis 470 sind entnommen aus: MAX FOERSTER, »Die Eisenkonstruktionen der Ingenieur-Hochbauten«, 3. Aufl., Leipzig 1906.

Über die Berechnung der Trägheitsmomente einfacher und zusammengesetzter Querschnitte siehe § 11. Beispiele für die Berechnung folgen ebenfalls später.

2. Schubfestigkeit (Abscherung). Nimmt man die in einem Querschnitt auftretende Schubspannung als gleichmäßig verteilt an, so ergibt sich als Schubbeanspruchung für 1 qcm, also die Schubspannung nach der Formel

$$\sigma_s = \frac{P}{F}, \quad (8)$$

wo P die auf Abscherung wirkende Kraft und F die Querschnittsfläche des betrachteten Querschnitts ist. σ_s darf höchstens gleich der zulässigen Beanspruchung auf Schub (k_s) werden, d. h. es muß $\sigma_s \leq k_s$ sein, und als Dimensionierungsformel ergibt sich

$$F = \frac{P}{k_s}. \quad (9)$$

Die zulässige Beanspruchung auf Schub kann man ungefähr gleich $\frac{4}{5}$ der zulässigen Beanspruchung auf Zug oder Druck setzen, d. h. $k_s = \frac{4}{5}k_d$ oder $\frac{4}{5}k_z$, wobei der kleinere dieser beiden Werte maßgebend ist.

Demnach ergibt sich für:

Gußeisen $k_s = 250 \cdot \frac{4}{5} = 200$ kg/qcm	}	für ruhende Belastung
Schweißeisen $k_s = 1050 \cdot \frac{4}{5} = 840$ kg/qcm		
Flußeisen $k_s = 1350 \cdot \frac{4}{5} = 1080$ kg/qcm	}	für stoßend wirkende Belastung.
Schweißeisen $k_s = 700 \cdot \frac{4}{5} = 560$ kg/qcm		
Flußeisen $k_s = 900 \cdot \frac{4}{5} = 720$ kg/qcm		

Als Mittelwert könnte man gemäß der Tabelle auf S. 307 für Schmiedeeisen (Flußeisen und Schweißeisen) einführen:

$$k_s = 750 \cdot \frac{4}{5} = 600 \text{ kg/qcm bei stoßender Belastung,}$$

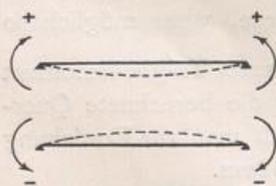
$$k_s = 1000 \cdot \frac{4}{5} = 800 \text{ kg/qcm bei ruhender Belastung.}$$

Rechnungsbeispiele siehe bei den Vernietungen usw.

Für die Berechnung von Schubbeanspruchungen in Querschnitten vollwandiger Konstruktionen ist meist die Querkraft maßgebend. Unter Querkraft eines Querschnitts versteht man die algebraische Summe, der zum Querschnitt parallelen Komponenten sämtlicher Kräfte auf der einen Seite dieses Querschnitts. (Näheres siehe bei den Trägern, Abschnitt IV.)

3. Biegungsfestigkeit. Nach § 9, 3 tritt Biegung auf, wenn die Kräfte zwei Nachbarquerschnitte um eine zur Kraftebene senkrecht stehende Achse so zu drehen bestrebt sind, daß die anfänglich parallelen Querschnitte nicht mehr parallel bleiben. Diese Verdrehung wird durch die Summe der Momente aller Kräfte auf der einen Seite des Querschnitts, bezogen auf den Schwerpunkt des betreffenden Querschnitts als Drehpunkt, bedingt. Diese Summe der Momente wird das Biegemoment des betreffenden Querschnitts genannt. Als positive Biegemomente bezeichnet man in der Regel diejenigen, die den Träger nach unten durchzubiegen bestrebt sind, die also auf beiden Seiten des Querschnitts nach oben drehen (Abb. 39). Die umgekehrt wirkenden Biegemomente sind dann negativ (Abb. 40).

Abb. 39 u. 40. Positive und negative Biegemomente.



Die maximalen Biegungsspannungen sind abhängig von den maximalen Biegemomenten und zwar ist in den einzelnen Querschnittspunkten die Biegungsspannung um so größer, je größer der Abstand der betreffenden Querschnittspunkte

vom Schwerpunkt dieses Querschnitts ist. Die größte Biegungsspannung tritt also an der äußersten Faser des Querschnitts auf. Ferner ist die Größe der Biegungsspannung abhängig von der Gestalt und Größe des beanspruchten Querschnitts; denn die Querschnittsformen und zwar die Trägheitsmomente der Querschnitte bedingen die Widerstandsfähigkeit des Körpers gegen Verbiegungen. Je widerstandsfähiger der Träger gegen Verbiegung ist, d. h. je größer die in Betracht kommenden Trägheitsmomente sind, desto kleiner sind für vorliegende Biegemomente die Biegungsspannungen.

Schneidet die durch die äußeren Kräfte gelegte Ebene den Querschnitt in einer Hauptachse (siehe § 11), so erfolgt die Verdrehung des betreffenden Querschnitts um eine zur Kraftebene senkrechte Achse, d. h. um die zur obigen Hauptachse zugehörige Hauptachse und die Biegungsspannung in einem beliebigen Querschnittspunkte ist dann direkt proportional dem Biegemoment M für diesen Querschnitt, sowie dem Abstände z vom Schwerpunkt (der Drehachse) und umgekehrt proportional dem Trägheitsmoment J . Folglich ist

$$\sigma = \frac{M \cdot z}{J}. \quad (10)$$

Wird hierin M in kgcm, z in cm und J in cm^4 eingesetzt, so ergibt sich σ in kg/qcm.

Alle Punkte mit derselben Entfernung z haben die gleiche Spannung. Wird für jeden Querschnittspunkt die zugehörige Spannung aufgetragen, so ergibt sich das sog. Spannungsdiagramm (Abb. 41).

In den Punkten, für die $z = 0$ ist, wird auch die Spannung gleich 0 (neutrale Achse des Querschnitts oder Nullinie).

Bei positiven Biegemomenten erleiden die Punkte unterhalb der Nullinie Zugspannungen (+) und diejenigen oberhalb der Nullinie Druckspannungen (-). Die Biegungsspannungen werden also auf Zug- und Druckspannungen zurückgeführt, sind also Normalspannungen. Die größten Beanspruchungen treten in den äußersten Punkten auf, mithin die größte Zugspannung für $z = a_1$ und die größte Druckspannung für $z = a_2$. Es ist daher:

$$\sigma_{\max} = \frac{M \cdot a_1}{J} \quad \text{und} \quad \sigma_{\min} = \frac{M \cdot a_2}{J}.$$

σ_{\max} und σ_{\min} dürfen höchstens gleich der zulässigen Zug- bzw. Druckbeanspruchung werden, d. h.

$$\sigma_{\max} = k_z = \frac{M \cdot a_1}{J} \quad \text{und} \quad \sigma_{\min} = k_d = \frac{M \cdot a_2}{J}. \quad (11)$$

Für Schmiedeeisen und Stahl, für die $k_z = k_d = k$ ist, ergibt sich als Bedingung für eine gute Materialausnutzung:

$$\sigma_{\max} = \sigma_{\min} = k,$$

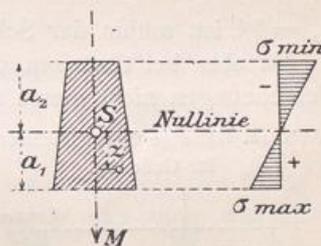
und somit auch $a_1 = a_2 = a$.

Die Dimensionierungsgleichung ist also

$$k = \frac{M \cdot a}{J} \quad \text{oder} \quad \frac{J}{a} = \frac{M}{k}. \quad (12)$$

J und a sind abhängig von der Querschnittsform und somit gesucht, wenn für ein vorliegendes Biegemoment M ein Träger zu berechnen ist.

Abb. 41. Spannungsdiagramm.



$\frac{J}{a}$ bezeichnet man als Widerstandsmoment (W) und dieses ist f ur die meisten Normalprofile direkt in den Profilb uchern gegeben; es kann in solchem Falle das erforderliche Profil unmittelbar gew ahlt werden nach der Gleichung:

$$W = \frac{M}{k}; \tag{13}$$

worin k die zul assige Zug- und Druckbeanspruchung bedeutet. Es sind also f ur Schmiedeeisen und Stahl dieselben Werte f ur k wie bei der Zug- und Druckfestigkeit (siehe § 10, 1) zugrunde zu legen. Beispiele f ur die Berechnung siehe sp ater.

Ist k_z nicht gleich k_d , so ist als zul assige Biegungsbeanspruchung der kleinere dieser beiden Werte zu w ahlen, und man wird dann mit R ucksicht auf eine gute Materialausnutzung bei der $\sigma_{\max} = k_z$ und $\sigma_{\min} = k_d$ ist, dem Querschnitt wenn m oglich solche Abmessungen geben, daß $\frac{a_1}{a_2} = \frac{k_z}{k_d}$ wird. Bei Gußeisen z. B. mit $k_z = 250$ kg/qcm und $k_d = 500$ kg/qcm w are bei $a_1 = a_2$, d. h. wenn der Schwerpunkt in halber H ohe liegt, mit einer zul assigen Biegungsspannung von $k = 250$ kg/qcm zu rechnen und nach der Formel $W = \frac{M}{k}$ zu dimensionieren; oder auch, um k_d und k_z voll auszunutzen,

die Querschnittsform so zu w ahlen, daß $\frac{a_1}{a_2} = \frac{k_z}{k_d} = \frac{250}{500} = \frac{1}{2}$ also: $a_1 = \frac{1}{3}h$ und $a_2 = \frac{2}{3}h$ ist, mithin der Schwerpunkt in einem Drittel der H ohe liegt (Abb. 42).

Da aber bei Gußeisen das Proportionalitätsgesetz nicht gilt, und somit auch diese Berechnungen nicht genau zutreffen, empfiehlt es sich, Gußeisen f ur auf Biegung beanspruchte Teile nicht zu verwenden; dies ist auch mit R ucksicht auf die Spr odigkeit des Gußeisens sehr empfehlenswert.

Abb. 42. G unstige Querschnittsform f ur Gußeisen.

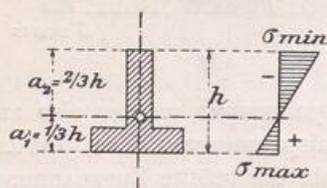
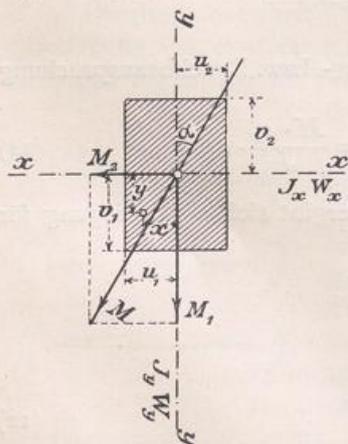


Abb. 43. Kraftebene schneidet den Querschnitt nicht in Hauptachse.



Schneidet die Kraftebene den Querschnitt nicht in einer Hauptachse, so findet die Verdrehung nicht um eine zur Kraftebene senkrecht stehende Achse statt. Die Richtung der Drehachse, d. h. die Richtung der Nulllinie ist also von vornherein nicht bekannt. Zur Berechnung zerlegt man das Biegemoment M des betreffenden Querschnitts in 2 Seitenkomponenten M_1 und M_2 (Abb. 43), berechnet f ur jede die zugeh origen Spannungen und addiert diese.

Die Spannung in einem beliebigen Punkte mit dem Abstände y von der x -Achse und dem Abstand x von der y -Achse berechnet sich zu

$$\sigma = \frac{M_1 \cdot y}{J_x} + \frac{M_2 \cdot x}{J_y}$$

Ferner ist

$$M_1 = M \cdot \cos \alpha; \quad M_2 = M \cdot \sin \alpha$$

M_1 und M_2 k onnen auch aus der Zeichnung direkt abgegriffen werden, wenn man M in einem bestimmten Maßstab auftr agt und graphisch zerlegt.

Es sei $J_x =$ Tr agheitsmoment des Querschnitts auf die x -Achse bezogen und $J_y =$ Tr agheitsmoment auf die y -Achse bezogen. F ur die Grenzwerte von x und y treten die gr o ten Spannungen auf; bei positiven Biegemomenten ist daher die gr o te Zugspannung σ_{\max} f ur $x = +u_1$

und $y = +v_1$; die größte Druckspannung σ_{\min} für $x = -u_2$ und $y = -v_2$; also:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_1 \cdot v_1}{J_x} + \frac{M_2 \cdot u_1}{J_y} \quad \text{und} \quad \sigma_{\min} = -\left(\frac{M_1 \cdot v_2}{J_x} + \frac{M_2 \cdot u_2}{J_y}\right).$$

Sind die zulässigen Beanspruchungen auf Zug und Druck wieder einander gleich, d. h. ist $k_z = k_d = k$, so wird mit Rücksicht auf eine gute Materialausnutzung $v_1 = v_2 = v$ und $u_1 = u_2 = u$ gewählt und die Bedingungsgleichung heißt dann:

$$k = \frac{M_1 \cdot v}{J_x} + \frac{M_2 \cdot u}{J_y}. \quad (14)$$

Da nun $\frac{J_x}{v} = W_x$ das Widerstandsmoment für die X -Achse und $\frac{J_y}{u} = W_y$ dasjenige für die y -Achse ist, so ergibt sich somit

$$k = \frac{M_1}{W_x} + \frac{M_2}{W_y} = \frac{1}{W_x} \left(M_1 + \frac{W_x}{W_y} \cdot M_2 \right).$$

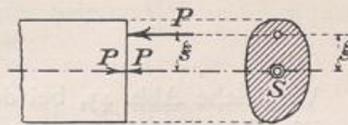
Wird das Verhältnis der beiden Widerstandsmomente $\frac{W_x}{W_y} = c$ gesetzt, so ist $k = \frac{M_1 + c \cdot M_2}{W_x}$, und die Dimensionierungsformel heißt:

$$W_x = \frac{M_1 + c \cdot M_2}{k}, \quad (15)$$

c wird zunächst gewählt (für I-Eisen $c = 7$ bis 9 und für C-Eisen $c = 5$ bis 7 , für mittlere Profile) und mittels Annäherung die Rechnung durchgeführt (Beispiele siehe bei der Pfettenberechnung in Abschnitt V).

4. Zusammengesetzte Festigkeit. Der häufigste Fall der zusammengesetzten Festigkeit ist derjenige, der durch eine Achsialkraft P und ein Moment M oder auch, was dasselbe ist, durch eine den Querschnitt exzentrisch, d. h. nicht im Schwerpunkt, treffende Kraft erzeugt wird. Den letzten Belastungsfall kann man ersetzen durch eine achsialwirkende Kraft und ein Kräftepaar mit dem Moment $P \cdot \xi$, wenn ξ die Exzentrizität der Kraft ist (Abb. 44). Die durch die Achsialkraft P und das Moment M erzeugten Spannungen addieren sich direkt, da sie beide Normalspannungen sind; selbstredend ist bei der Summierung das Vorzeichen zu berücksichtigen.

Abb. 44. Zusammengesetzte Festigkeit.



Trifft die Kraft P den Querschnitt nicht senkrecht, so kommt für die Normalspannungen die zur Querschnittsebene senkrechte Komponente der Kraft in Betracht; die andere in der Querschnittsebene wirkende Komponente erzeugt Schubspannungen im Querschnitt.

Wird ein Querschnitt durch eine Achsialkraft P und ein Biegemoment M beansprucht, so sind bei der Spannungsermittlung wieder zwei Fälle zu unterscheiden, je nachdem die Kraft- oder Momentenebene den Querschnitt in einer Hauptachse schneidet oder nicht. Schneidet die Kraftebene den Querschnitt in einer Hauptachse, so ist die Spannung in einem beliebigen Punkte im Abstand z von der zugehörigen Hauptachse:

$$\sigma = \pm \frac{P}{F} + \frac{M \cdot z}{J}, \quad (16)$$

$\frac{P}{F}$ ist positiv oder negativ, je nachdem die Achsialkraft auf Zug oder auf Druck wirkt.

Abb. 45 entspricht einem negativen $\frac{P}{F}$. Die Grenzspannungen treten auf f ur die Grenzwerte von z und zwar ist bei positivem Biegemoment M

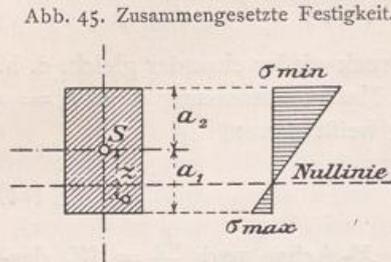


Abb. 45. Zusammengesetzte Festigkeit.

$$\sigma_{\max} = \pm \frac{P}{F} + \frac{M \cdot a_1}{J}$$

und

$$\sigma_{\min} = \pm \frac{P}{F} - \frac{M \cdot a_2}{J}$$

Bei $a_1 = a_2 = a$ ergeben sich durch Einsetzung von $\frac{J}{a} = W$ die Werte

$$\sigma_{\max} = \pm \frac{P}{F} + \frac{M}{W} \quad \text{und} \quad \sigma_{\min} = \pm \frac{P}{F} - \frac{M}{W}. \quad (17)$$

Erzeugt P Zugspannungen, so ist

$$\sigma_{\max} = \frac{P}{F} + \frac{M}{W} \quad \text{und} \quad \sigma_{\min} = \frac{P}{F} - \frac{M}{W}.$$

Wirkt P auf Druck, dann wird

$$\sigma_{\max} = -\frac{P}{F} + \frac{M}{W} \quad \text{und} \quad \sigma_{\min} = -\frac{P}{F} - \frac{M}{W}.$$

Haben σ_{\max} und σ_{\min} gleiche Vorzeichen, so wird der ganze Querschnitt nur gezogen oder gedrückt; die Nulllinie f allt dann außerhalb des Querschnitts. Ist das Vorzeichen von σ_{\max} und σ_{\min} verschieden, so tritt im Querschnitt teils Zug und teils Druck auf, d. h. die Nulllinie f allt in den Querschnitt.

Schneidet die Kräfteebene den Querschnitt nicht in einer Hauptachse, so steht die Richtung der Nulllinie nicht mehr senkrecht auf der Kräfteebene. Man zerlegt dann das Moment wie bei der reinen Biegung in zwei Seitenkomponenten M_1 und M_2 und es ergibt sich nach S. 312 die Spannung in einem beliebigen Querschnittspunkte

$$\sigma = \pm \frac{P}{F} + \frac{M_1 \cdot y}{J_x} + \frac{M_2 \cdot x}{J_y}. \quad (18)$$

Vergleiche Abb. 43, bei der in S noch eine Achsialkraft P wirkend zu denken ist. Die Grenzspannungen ergeben sich wieder f ur die Grenzwerte von y und x zu:

$$\sigma_{\max} = \pm \frac{P}{F} + \frac{M_1 \cdot v_1}{J_x} + \frac{M_2 \cdot u_1}{J_y} \quad \text{und} \quad \sigma_{\min} = \pm \frac{P}{F} - \frac{M_1 \cdot v_2}{J_x} - \frac{M_2 \cdot u_2}{J_y}$$

und bei $M_1 = M_2 = M$; $v_1 = v_2 = v$, wobei $\frac{J_x}{v} = W_x$ und $\frac{J_y}{u} = W_y$ ist,

$$\sigma_{\max} = \pm \frac{P}{F} + \frac{M_1}{W_x} + \frac{M_2}{W_y} \quad \text{und} \quad \sigma_{\min} = \pm \frac{P}{F} - \frac{M_1}{W_x} - \frac{M_2}{W_y}. \quad (19)$$

Hierin ist f ur $\frac{P}{F}$ je nach der Wirkung von P das positive oder negative Vorzeichen zu w ahlen. Auch hierbei wird wieder der ganze Querschnitt gezogen oder gedrückt, wenn σ_{\max} und σ_{\min} gleiche Vorzeichen haben. Die Nulllinie f allt dann außerhalb des Querschnitts. Haben σ_{\max} und σ_{\min} entgegengesetztes Vorzeichen, so liegt die Nulllinie im Querschnitt und auf ihrer einen Seite treten Zug-, auf der anderen Seite Druckspannungen auf.

Die Dimensionierungsformel kann analog, wie bei der reinen Biegung gebildet werden.

Die aus Druck und Biegung zusammengesetzte Festigkeit spielt im Hochbau besonders bei exzentrisch belasteten Stützen, sowohl bei eisernen als auch gemauerten, eine große Rolle. Beispiele siehe bei Säulen (Abschnitt III).

Wegen der zusammengesetzten Schub- und Biegungsspannung vergleiche in § 14, 1, e die »Berechnung der Gelenkbolzen«.

§ 11. Trägheitsmomente. Wie aus § 10 ersichtlich ist, sind zum Nachweis der Knicksicherheit und zur Berechnung der Biegungsspannungen die Trägheitsmomente erforderlich. Diese sind Flächenmomente höherer Ordnung, und zwar versteht man unter dem Trägheitsmoment eines Querschnitts auf irgend eine Achse die Summe der Produkte aus den unendlich kleinen Flächenteilchen df des Querschnitts und den Quadraten der zugehörigen Abstände von der betreffenden Achse. Diese Achse nennt man Trägheitsachse.

Nimmt man z. B. für den in Abb. 46 dargestellten Querschnitt 2 beliebige Achsen xx und yy an, und sind die Abstände eines beliebigen Flächenteilchens von diesen Achsen y und x , so ist das Trägheitsmoment bezogen auf die x -Achse:

$$J_x = \sum y^2 \cdot df$$

und dasjenige bezogen auf die y -Achse

$$J_y = \sum x^2 \cdot df.$$

Diese beiden Trägheitsmomente nennt man äquatoriale Trägheitsmomente, da die Trägheitsachsen in der Ebene des Querschnitts liegen. Stehen dagegen die Trägheitsachsen senkrecht auf der Ebene des Querschnitts, so spricht man von polaren Trägheitsmomenten (J_p), z. B. für eine solche Achse im Punkte A ist

$$J_p = \sum \rho^2 \cdot df, \text{ wobei } \rho \text{ der direkte Abstand von } A \text{ ist.}$$

Schneiden sich zwei äquatoriale und eine polare Trägheitsachse in einem Punkt, wie in Abb. 46, und stehen die beiden äquatorialen Achsen x und y senkrecht aufeinander, so ist das polare Trägheitsmoment gleich der Summe der beiden äquatorialen Trägheitsmomente, da in diesem Falle $\rho^2 = x^2 + y^2$:

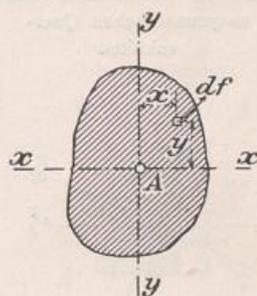
$$J_p = J_x + J_y. \tag{20}$$

Neben den Trägheitsmomenten unterscheidet man noch die Zentrifugalmomente und zwar ist $\sum x \cdot y \cdot df$ das Zentrifugalmoment des Querschnitts auf die beiden Achsen x und y .

In der Festigkeitslehre sind hauptsächlich die äquatorialen Trägheitsmomente von Bedeutung und im besonderen Maße die Trägheitsmomente auf Achsen, die durch den Schwerpunkt gehen und Schwerachsen genannt werden. Für jede Schwerachse ist im allgemeinen das Trägheitsmoment ein anderes, und diejenigen Achsen, die das größte und kleinste Trägheitsmoment aufweisen, nennt man Hauptachsen. Diejenige Hauptachse, für die das Trägheitsmoment ein Maximum ist, wird erste Hauptachse, diejenige für die das Trägheitsmoment ein Minimum ist, zweite Hauptachse genannt. Die beiden Hauptachsen stehen senkrecht aufeinander, und das Zentrifugalmoment des Querschnitts auf die beiden Hauptachsen ist gleich Null.

Hieraus folgt weiter, daß jede Symmetrieachse eine Hauptachse ist, und daß die zugehörige andere Hauptachse auf jener im Schwerpunkt senkrecht steht. Hiernach lassen sich für Querschnitte, die eine Symmetrieachse haben, die Hauptachsen direkt angeben, wie z. B. in Abb. 47 u. 48. Will man für einen unsymmetrischen Querschnitt die Lage der Hauptachsen berechnen, so ermittelt man zunächst die Trägheitsmomente

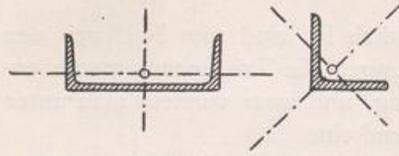
Abb. 46. Trägheitsmoment eines Querschnitts.



und das Zentrifugalmoment auf zwei aufeinander senkrecht stehende Achsen, die f ur die Berechnung bequem liegen; sind die Tr agheitsmomente auf diese beiden Achsen J_ξ und J_η , das Zentrifugalmoment = $J_{\xi\eta}$ (Abb. 49), so lautet die Bedingung f ur die Lage der Hauptachsen:

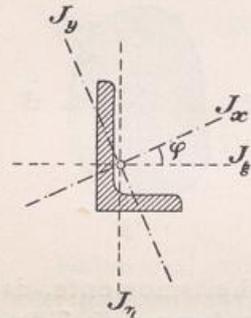
$$\operatorname{tg} 2\varphi = \frac{2 \cdot J_{\xi\eta}}{J_\eta - J_\xi} \quad (21)$$

Abb. 47 u. 48. Querschnitte mit einer Symmetrieachse.



Die hierdurch gegebenen 2 Winkel φ sind um 90° voneinander verschieden und geben die Winkel an, die die gesuchten Hauptachsen mit der ξ -Achse bilden.

Abb. 49. Hauptachsen eines unsymmetrischen Querschnitts.



Hat ein Querschnitt 2 oder mehr Symmetrieachsen, die nicht senkrecht aufeinander stehen, so sind auch mehrere Paare von Hauptachsen vorhanden, wie z. B. beim Quadrat, Kreis usw. Beim Quadrat sind 2 Paare von Hauptachsen vorhanden (x und y , sowie ξ und η in Abb. 50), und zwar sind alle 4 Tr agheitsmomente gleich groß, denn es ist $J_x = J_y$ und $J_\xi = J_\eta$; ferner ist $J_x = J_\xi$, da 2 verschiedene Maxima nicht möglich sind. Beim Kreis und Kreisring ist jede Schwerachse eine Symmetrieachse, also auch eine Hauptachse, und die Tr agheitsmomente auf sämtliche Schwerachsen sind gleich groß.

Ist das Tr agheitsmoment eines Querschnitts auf eine Schwerachse bekannt und gleich J_s , so lässt sich das Tr agheitsmoment auf eine zu dieser Schwerachse im Abstand u parallele Achse A (Abb. 51) leicht bilden nach der Formel:

$$J_A = J_s + F \cdot u^2 \quad (22)$$

Abb. 50. Querschnitt mit mehr als zwei Symmetrieachsen.

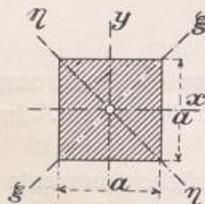


Abb. 51. Tr agheitsmoment auf eine zur Schwerachse parallele Achse.

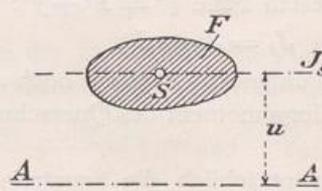
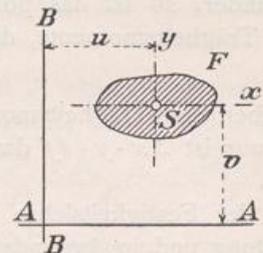


Abb. 52. Zentrifugalmoment eines Querschnitts.



Diese Beziehung lässt sich zur Ermittlung der Tr agheitsmomente zusammengesetzter Querschnitte sehr zweckm sig verwenden, wie die später folgenden Beispiele zeigen.

Analog ist nach Abb. 52 das Zentrifugalmoment f ur die Achsen A und B .

$$J_{AB} = J_{xy} + F \cdot u \cdot v.$$

Sind die x - und y -Achsen Hauptachsen, so ist

$$J_{xy} = 0, \text{ und es wird } J_{AB} = F \cdot u \cdot v.$$

Die Maßeinheiten der Tr agheitsmomente und Zentrifugalmomente sind vierter Dimension, z. B. cm^4 oder m^4 usw. Bei Umwandlung von m^4 in cm^4 sind also die Zahlen mit 100^4 zu multiplizieren. Z. B. $2,5 \text{ m}^4 = 250\,000\,000 \text{ cm}^4$.

Trägheitsmomente verschiedener Querschnitte.

1. Rechteck (Abb. 53).

Die Trägheitsmomente auf die Hauptachsen sind:

$$J_x = \frac{b \cdot h^3}{12}; \quad J_y = \frac{h \cdot b^3}{12},$$

für Achse A: $J_A = J_x + F \cdot \left(\frac{h}{2}\right)^2 = \frac{b \cdot h^3}{12} + b \cdot h \cdot \frac{h^2}{4} = \frac{b \cdot h^3}{3}$.

Analog für Achse B: $J_B = \frac{h \cdot b^3}{3}$.

2. Quadrat (Abb. 54).

$$J_x = J_y = \frac{a^4}{12}.$$

Für die beiden anderen Hauptachsen ist J gerade so groß; desgleichen für alle anderen Schwerachsen:

$$J_{\xi} = J_{\eta} = \frac{a^4}{12} = J.$$

3. Dreieck (Abb. 55).

$$J_x = \frac{b \cdot h^3}{36}.$$

4. Trapez (Abb. 56).

$$J = \frac{6 \cdot b^2 + 6b \cdot b_1 + b_1^2}{36 \cdot (2b + b_1)} \cdot h^3.$$

5. I-Querschnitt (Abb. 57).

Berechnet als Differenz von Rechtecken, ergibt sich:

$$J_x = \frac{B \cdot H^3}{12} - \frac{(B - \delta) \cdot (H - 2d)^3}{12}.$$

Ebenso kann man das Trägheitsmoment eines genieteten Blech-Trägers (Abb. 58) ermitteln:

$$J_x = \frac{B \cdot H^3}{12} - \frac{2 \delta_1 \cdot h_1^3}{12} - \frac{2 \delta' \cdot h_2^3}{12} - \frac{2 \cdot \lambda \cdot h_3^3}{12}.$$

Hiervon ist noch das Trägheitsmoment der Nietlöcher, entweder der horizontalen oder der vertikalen in Abzug zu bringen; nicht beide zugleich, da diese gegeneinander versetzt sind. Für die vertikalen Nietlöcher wäre abzuziehen: $J_{\min} = 4 \cdot f_n \cdot \left(\frac{h_n}{2}\right)^2$, wobei f_n = Querschnittsanteil eines Nietloches und h_n der Schwerpunktsabstand zweier übereinanderliegender Nietlöcher ist.

Als angenäherten Ausdruck für das Trägheitsmoment des genieteten Blechträgers könnte man auch schreiben:

$$J = \frac{\delta \cdot h^3}{12} + 2 \cdot f \left(\frac{h}{2}\right)^2 = \frac{h^2}{2} \left(\frac{\delta \cdot h}{6} + f\right),$$

worin h = Steghöhe, δ = Stegstärke, f = Fläche jeder Gurtung (Winkel und Deckplatten). Für überschlägliche und vorläufige Berechnungen ist diese Formel oft ausreichend.

Abb. 53. Rechteck.

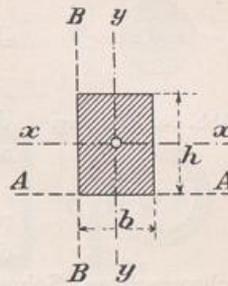


Abb. 54. Quadrat.

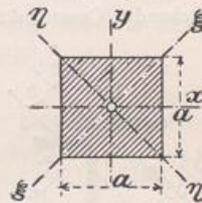


Abb. 55. Dreieck.

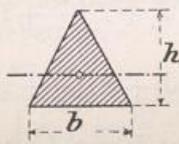


Abb. 56. Trapez.

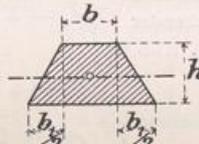


Abb. 57. I-Querschnitt.

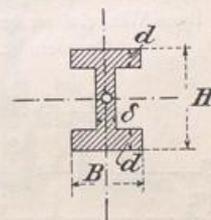
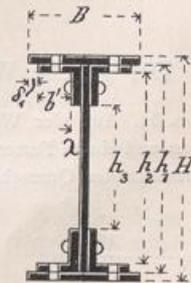


Abb. 58. Blechträger.



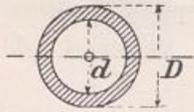
6. Kreis und Kreisring (Abb. 59 u. 60).

Abb. 59. Kreis.



Für den Kreis ist $J_s = \frac{d^4 \cdot \pi}{64}$ oder $\frac{\pi \cdot r^4}{4}$, für den Kreisring $J_s = \left(\frac{D^4 - d^4}{64}\right) \pi$ oder $(R^4 - r^4) \frac{\pi}{4}$.

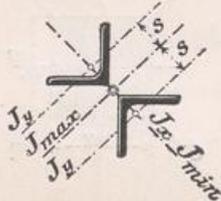
Abb. 60. Kreisring.



Für weitere Querschnittsformen sind die Trägheitsmomente aus der »Hütte« 1905, I, S. 392 usw. ersichtlich; doch dürfte man im allgemeinen mit den angegebenen auskommen.

Sehr zweckmäßig läßt sich die Formel $J = J_s + F \cdot u^2$ zur Berechnung zusammengesetzter Querschnitte verwenden, indem man die in den Profiltabellen angegebenen Trägheitsmomente für die Schwerachsen, Schwerpunktsabstände usw. der einzelnen Teilprofile mit benutzt.

Abb. 61. Aus zwei übereck gestellten Winkelleisen bestehender Querschnitt.



Es seien nachstehend für einige wichtige Querschnittsformen von Fachwerkstäben, Stützen usw. die Gleichungen für J_{max} und J_{min} gegeben.¹⁰⁾

Abb. 61. $J_{max} = 2 \cdot (J_y + F \cdot s^2)$,
 $J_{min} = 2 \cdot J_x$.

Abb. 62. Aus zwei gleichschenkeligen Winkelleisen bestehender Querschnitt.

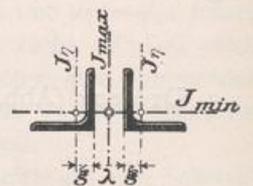


Abb. 62. $J_{max} = 2 \cdot \left[J_\eta + F \cdot \left(\frac{\lambda}{2} + \xi \right)^2 \right]$,
 $J_{min} = 2 \cdot J_\xi$.

Abb. 63. Aus vier ungleichschenkeligen Winkelleisen bestehender Querschnitt.

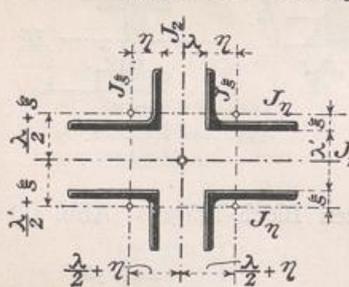
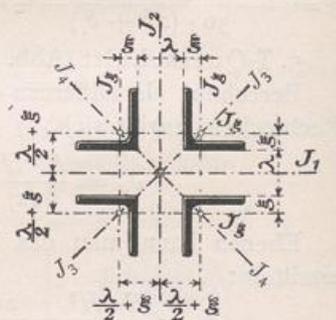


Abb. 63. $J_1 = 4 \cdot \left[J_\eta + F \cdot \left(\frac{\lambda'}{2} + \xi \right)^2 \right]$,
 $J_2 = 4 \cdot \left[J_\xi + F \cdot \left(\frac{\lambda}{2} + \eta \right)^2 \right]$.

Abb. 64. Aus vier gleichschenkeligen Winkelleisen bestehender Querschnitt.



Ob J_1 oder J_2 zum J_{max} wird, ist hier abhängig von λ und λ' .

Bei gleichschenkeligen Winkeln und $\lambda = \lambda'$ ergeben sich vier Hauptachsen mit J_1, J_2, J_3 und J_4 , die alle einander gleich sind (Abb. 64).

$J_1 = J_2 = J_3 = J_4 = 4 \cdot \left[J_\xi + F \cdot \left(\frac{\lambda}{2} + \xi \right)^2 \right]$.

Der gleiche Wert ergibt sich auch für alle anderen Schwerachsen.

Abb. 65. Aus vier Winkelleisen und einem Futterblech bestehender Querschnitt.

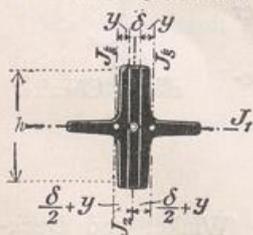


Abb. 65. $J_1 = 2 \cdot J_y + \frac{\delta \cdot h^3}{12}$,
 $J_2 = 2 \cdot \left[J_x + F \cdot \left(\frac{\delta}{2} + y \right)^2 \right] + \frac{h \cdot \delta^3}{12}$.

Abb. 66. Aus zwei Zoreisen bestehender Querschnitt.

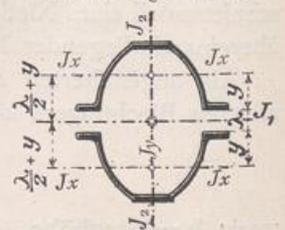


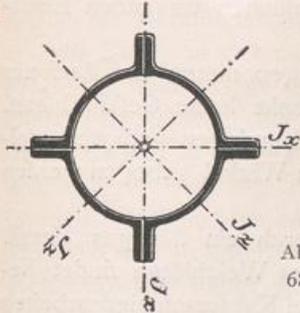
Abb. 66. $J_1 = 2 \cdot \left[J_x + F \cdot \left(y + \frac{\lambda}{2} \right)^2 \right]$,
 $J_2 = 2 \cdot J_y$.

Ob J_1 oder J_2 das Maximum wird, hängt ab von λ .

¹⁰⁾ Hierbei sind die Bezeichnungen der »Hütte« 1905, zu Grunde gelegt, wonach sich J_x, J_y, J_ξ, J_η und F immer auf ein Profil beziehen.

Bei dem nebenstehenden Querschnitt aus 4 Quadranteisen sind wieder zwei Paare von Hauptachsen (Symmetrieachsen) vorhanden, für die die Trägheitsmomente ebenfalls sämtlich einander gleich sind. Auch für alle anderen Schwerachsen ergeben sich die gleichen Trägheitsmomente.

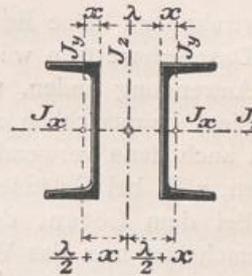
Abb. 67. Aus vier Quadranteisen bestehender Querschnitt.



$J = J_x = J_y$; die Werte hierfür sind für die verschiedenen Durchmesser in der »Hütte« gegeben.

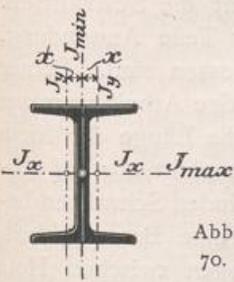
$$\text{Abb. 68. } \begin{cases} J_1 = 2 \cdot J_x, \\ J_2 = 2 \cdot \left[J_y + F \cdot \left(\frac{\lambda}{2} + x \right)^2 \right]. \end{cases}$$

Abb. 68. Aus zwei C-Eisen bestehender Querschnitt.



In der »Hütte« und auch in den meisten anderen Profiltabellen sind für die verschiedenen C-Profile die Werte für λ (i) angegeben, für die $J_1 = J_2$ wird.

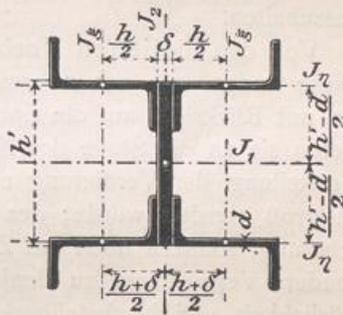
Abb. 69. Aus zwei dicht nebeneinander liegenden C-Eisen bestehender Querschnitt.



Ist $\lambda < i$ so wird $J_1 = J_{\max}$ und $J_2 = J_{\min}$.
Ist $\lambda > i$ so wird $J_2 = J_{\max}$ und $J_1 = J_{\min}$.

Für $\lambda = 0$ (Abb. 69) ist $J_2 = J_{\min} = 2 \cdot (J_y + F \cdot x^2)$,
oder auch, da J_b meist für ein C-Eisen angegeben ist,
 $J_{\min} = 2 \cdot J_b$.

Abb. 70. Aus vier L-Eisen bestehender Querschnitt.



$$\text{Abb. 70. } \begin{cases} J_1 = \frac{\delta \cdot h^3}{12} + 4 \cdot \left[J_{y1} + F \cdot \left(\frac{h-d}{2} \right)^2 \right], \\ J_2 = \frac{h' \cdot \delta^3}{12} + 4 \cdot \left[J_{z1} + F \cdot \left(\frac{h+\delta}{2} \right)^2 \right]. \end{cases}$$

Für unregelmäßige, krummlinig begrenzte Querschnitte erfolgt die Ermittlung der Trägheitsmomente am zweckmäßigsten auf graphischem Wege, worauf hier jedoch nicht näher eingegangen werden kann.

II. Die Konstruktionselemente.

A. Die Verbindungsmittel der Eisenkonstruktionen.

§ 12. Die verschiedenen Arten der Verbindungsmittel. Die Mittel, welche zur Verbindung zweier oder mehrerer Konstruktionsteile verwendet werden, sind je nach den an sie gestellten Anforderungen und dem Zweck, dem sie dienen, verschieden. Man unterscheidet lösliche und unlösliche Verbindungen und demgemäß lösliche und unlösliche Verbindungsmittel.

Unlöslich nennt man eine Verbindung, wenn eine spätere Trennung der verbundenen Teile nur durch Zerstörung der Verbindungsmittel möglich ist. Lösliche Verbindungen sind solche, die jederzeit auseinander genommen werden können, ohne daß die Konstruktionsteile zerstört werden.

Die löslichen Verbindungsmittel teilt man noch ein in feste und regulierbare, je nachdem die Verbindung eine unveränderlich feste oder eine nachstellbare ist.