



„Nachdem der deutschen Wirtschaft und vor allem den deutschen Erfindern die notwendigen national-wirtschaftlichen Ziele aufgezeichnet worden sind, haben es die Fähigkeiten und Genialität unserer Chemiker, Physiker, Maschinenbauer und Techniker, unserer Betriebsführer und Organisatoren fertiggebracht, ungeahnte, ja, ich darf es aussprechen, staunenswerte Erfolge zu erzielen.“

Mit diesen Worten bestätigte der Führer auf dem Reichsparteitag 1938 die erfolgreiche Arbeit der Forschung und Entwicklung in der deutschen Technik.

*Das HAUS DER TECHNIK, ESSEN, eröffnete sein Wintersemester 1938/1939 mit einer Tagung „**Der Leichtbau in Konstruktion und Technologie**“ und hat damit ein Gebiet der Technik herausgegriffen, in dem der Wille zum Ausdruck kommt, den bisherigen Konstruktionsprinzipien gegenüber mit geringerem und möglichst eigenem Rohstoffeinsatz, zumindest zu derselben Leistung, oder sogar zur höheren Leistung zu kommen. Die gründliche und unvoreingenommene Erfassung einer technischen Aufgabe hat zu Erkenntnissen und damit zu Lösungen geführt, die in ihrem Arbeitsvermögen außergewöhnlich hoch liegen und den Techniker zur Überholung seines geistigen Rüstzeuges zwingen.*

Die Leichtbaulagung war mit 1500 Teilnehmern ungewöhnlich stark besucht. Diese Tatsache berechtigt zu dem Schluß, daß heute bei den Männern der Technik die Bereitschaft und der Wille vorhanden sind, die neuen Wege in der Technik mitzugehen und sie bei der eigenen Arbeit anzuwenden. Diesen Willen zu stärken durch Vorführung des Beispiels in der Lehre und Anschauung soll immer die vornehmste Pflicht des Hauses der Technik bleiben.

Die „Qualität“ ist ein deutscher Wesenszug und ist — sehr oft unbewußt — die beste Lösung im Kampf gegen die Rohstoffsorge.

Der Weg von der schöpferischen Idee bis zur praktischen Ausführung war und bleibt immer schwierig, aber er braucht deswegen nicht lang zu sein, und ihn abzukürzen ist unser aller Pflicht.

Rickhey

Gauamtsleiter des Amtes für Technik
stellv. Vors. d. Vorst. d. H. d. T.

Die Pflicht zum Leichtbau

Von Dr.-Ing. M. H. Kraemer, Reichsstelle für Wirtschaftsausbau, Berlin

Die „Reichsstelle für Wirtschaftsausbau“, die zu vertreten ich die Ehre habe, ist dem „Haus der Technik“ sehr dankbar, daß die von uns gegebene Anregung, in der Stadt Essen eine Leichtbau-Tagung zu veranstalten, so rasch aufgegriffen und durchgeführt wurde. Die Aufteilung der gesamten Tagung in einen konstruktiven und einen werkstofftechnischen Teil sowie die Auswahl der Vorträge, besonders aber die Wahl der Vortragenden Fachleute aus allen einschlägigen Gebieten des Leichtbaus, sind ein erfreulicher Start in die Winterarbeit 1938/39. Das „Haus der Technik“ hat eine wichtige Aufgabe zu erfüllen, an der wir in Berlin großes Interesse nehmen.

Es ist dies die Aufgabe, den in der Praxis stehenden Ingenieur und Techniker unmittelbar hier in dem wichtigen Industriegebiet in seiner technischen und wissenschaftlichen Fortbildung zu betreuen. Gerade in unserer Zeit einer weitgehenden Wendung auf dem Gebiet der Werkstoffe ist die rasche Vermittlung neuer Kenntnisse und Erkenntnisse eine dringende Forderung. Ich möchte die Aufgabe, die dieses Haus sowie andere technisch-wissenschaftliche Organisationen erfüllen, einmal mit der Tätigkeit einer militärischen Nachrichtentruppe vergleichen. So, wie das gute Arbeiten einer solchen Nachrichtentruppe wesentlich für den Erfolg einer militärischen Operation ist, so ist das gute Arbeiten dieser Nachrichtenstellen der Technik Vorbedingung für die rasche und möglichst reibungslose Durchführung unserer Wirtschaftsplanung, vor allem auf dem Teilgebiet der Werkstoffeinsparung und des Werkstoffaustausches. Hier ist ein rasches Durchsagen der neuen Erkenntnisse oder gewisser Erfordernisse besonders notwendig. Und so komme ich zu dem eigentlichen Thema meiner Ausführungen.

„Pflicht zum Leichtbau“. Warum Pflicht zum Leichtbau? Einmal ist diese Pflicht eine rein konstruktive Forderung. Genau wie die Natur in der Lösung konstruktiver Aufgaben im Bereich des organischen Lebens keine Stoffverschwendung treibt, genau so sollen auch wir unsere Werkstoffe in ihren Abmessungen und in ihrer Auswahl so einsetzen, wie es zur Lösung der geforderten Aufgabe gerade notwendig ist. Dann aber ergibt sich die Pflicht zum Leichtbau aus der Forderung, die die Wirtschaftsplanung aufstellt: Einsparung der in Deutschland nicht ausreichend vorhandenen Werkstoffe und Einsatz derjenigen Werkstoffe, die ausreichend zur Verfügung gestellt werden können. Dazu ist eine große Kenntnis aller Werkstoffe erforderlich. Hier liegt aber die Schwierigkeit. Unsere heutigen Konstrukteure sind im Denken in Eisen groß geworden, nach Regeln, die durch das Alter von Generationen geheiligt waren. Ein Teil davon hat sich in der Praxis eingearbeitet auf neue hochwertige Legierungen, neue Profilstaltung und neue Fertigungsverfahren. Ein weiterer Teil hat es gelernt, mit Leichtmetallen zu konstruieren, und schließlich gibt es einige, die es verstehen, mit Kunststoffen konstruktiv zu denken. Heute aber muß gefordert werden, daß jeder Konstrukteur alle diejenigen Werkstoffe kennt, die überhaupt konstruktiv für ihn in Betracht kommen. Ich nenne in Verbindung mit dem Leichtbau, außer Stahl, die Leichtmetalle auf Aluminium- und Magnesiumgrundlage, die Kunststoffe und das Holz. Unter Kennen eines Werkstoffes ist zu verstehen das Wissen um

1. die rohstoffmäßige Versorgungslage,
2. die chemischen, physikalischen und technischen Eigenschaften,
3. die technischen Grenzen der Einsatzmöglichkeiten,
4. die wirtschaftlichen Einsatzmöglichkeiten.

Besondere Bedeutung hat der letzte Punkt. Denn entscheidend ist nicht der Kilopreis an sich. Er muß in Beziehung gebracht werden mit dem spezifischen Gewicht, den Festigkeitseigenschaften sowie vor allem mit den für diesen Werkstoff eigentümlichen Fertigungsverfahren. Gerade die Fertigungsverfahren, die für manchen vorher nicht gekannten Werkstoff oft neuartig sind, bringen preislich häufig erfreuliche Uebersparungen. So einfach dies alles klingt, es ist doch notwendig, diese Forderungen immer wieder aufzustellen, denn gerade wir, die wir uns mit allen Werkstoffen befassen, haben Gelegenheit festzustellen, wie einseitig ausgerichtet oft Fachleute sein können. Eine solche Arbeitstagung wie diese hier, die alle Werkstoffe behandelt, ist daher nie notwendiger gewesen als gerade jetzt.

Wie steht es nun mit unseren Werkstoffen? Sie wissen, daß die deutsche Technik und Wirtschaft seit 1933 eine gewaltige Leistung vollbracht hat. Große Gestaltungen sind im Innern vollendet, weitere sind im Ausbau, und vor allem ist unsere Stärke nach außen gesichert worden, in welchem Ausmaß und mit welchem Erfolg, das haben wir jetzt alle miterlebt. Die Durchführung dieser Aufgaben in dieser kurzen Zeit hat die deutsche Wirtschaft und somit auch unsere Rohstoffgrundlage auf das höchste beansprucht. Im richtigen Augenblick wurde deshalb der Vierjahresplan geschaffen, um aus eigenem Grund und Boden und Können unsere Versorgung mit Roh- und Werkstoffen sicherzustellen. Der Aufbau dieses Vierjahresplanes gab den Anstoß zu einer staatlichen technisch-wirtschaftlichen Lenkung, deren Vorbereitung und Durchführung bei der „Reichsstelle für Wirtschaftsausbau“ als einer selbständigen zentralen Reichsbehörde liegt. Denn wir stehen nicht am Ende unserer Pläne, sondern gerade erst in den ersten Anfängen.

Die erwähnte verstärkte Anforderung an Werkstoffen konnte nicht in allen Fällen aus der zunächst vorhandenen Erzeugung gedeckt werden. Es konnte auch nicht in allen Fällen die eigene Erzeugung beliebig gesteigert werden. Dagegen war man auf Grund der staatlichen Lenkung in der Lage, ganz bestimmte Werkstoffgebiete, deren Rohstoffe reichlich vorhanden waren, besonders zu fördern.

Nun zu den einzelnen Werkstoffen, die uns hier interessieren. Da ist zunächst das Eisen. Nachdem Deutschland seine Erzbasis verloren hatte, stellte man sich in früheren Jahren ganz auf Auslandserze ein. Die deutsche Eisenindustrie leistete zwar auf dem Gebiet der Stahlveredlung ganz Hervorragendes. Die Rohstoffseite der Eisen- und Stahlerzeugung hatte man jedoch weniger beachtet. Es ist dies ein Vorgang, dem man mehrfach auch auf anderen Gebieten begegnet. Hier mußte eine intensive Aufbauarbeit geleistet werden, die inzwischen zu erfreulichen Erfolgen geführt hat. Aber wir sind immer noch zu einem beachtlichen Teil unserer Eisenerzeugung abhängig von Auslandserzen. Dazu kommt noch, daß unsere augenblickliche Stahlerzeugung keineswegs ausreichend ist, obwohl wir,

wie bekannt sein wird, eine ganz beachtliche Produktion haben. Da vorläufig immer noch der Bedarf größer sein wird als die Erzeugung und der Auslandsanteil an den Erzen ebenfalls noch hoch bleiben wird, besteht für uns die dringende Forderung, Eisen einzusparen, wo es nur irgend technisch vertretbar ist. Weder die Rückkehr der Ostmark noch die Angliederung des Sudetenlandes ändern etwas an dieser Forderung. Sondern im Gegenteil! Es wird sich vorläufig daran gar nichts ändern, weil wir eine Reihe großer Eisenverbraucher besitzen, deren Bedarf unter allen Umständen gedeckt werden muß, und wo das Eisen bisher durch nichts auszutauschen ist, und wo auch nicht so ohne weiteres von Leichtbau gesprochen werden kann. Aber es handelt sich hier um einen ganz bestimmten Bedarfsfall. Bei allen anderen Verwendungsgebieten besteht die Pflicht zum Leichtbau, um Eisen zu sparen, und darüber hinaus die Pflicht zum Leichtmetallbau, also des Ausweichens in die Leichtmetalle, wo es nur irgend geht.

Die Leichtmetalle gehen einer großen Zukunft entgegen. Bei Aluminium mußte zunächst noch ein grundlegendes Rohstoffproblem gelöst werden, weil es bisher fast völlig aus ausländischem Bauxit hergestellt wurde. Die Forschung hat hier inzwischen im Anschluß des deutschen Tones diese Frage gelöst, und in absehbarer Zeit kann auch Aluminium als rein deutscher Werkstoff im ensten Sinne des Wortes angesprochen werden, der ebenso wie Magnesium in praktisch unbegrenzten Mengen erzeugbar ist. Beispielsweise wird die deutsche Aluminiumerzeugung, die 1933 rund 18 000 Tonnen betrug, bis 1941 mehr als verzehnfacht werden. Schon 1937 haben wir über ein Viertel der Welterzeugung an Aluminium hergestellt und sind damit zum weitaus größten Aluminiumproduzenten Europas geworden; wir werden aber noch zum größten Weltproduzenten vorrücken. Eine Sonderstellung nimmt das Magnesium ein. Hier erzeugen wir weit mehr als die ganze übrige Welt zusammen und haben dabei noch lange nicht alle Möglichkeiten erschöpft. Es ist gar kein Zweifel, daß in einer großen Reihe von Fällen das Leichtmetall in

das Eisengebiet eindringen wird und eindringen muß, weil es außerordentliche Vorteile gegenüber Eisen hat und vor allem, weil es vorhanden ist.

Als dritte Hauptgruppe kommen nun noch die organischen Werkstoffe hinzu, die uns ebenfalls in ausreichender Menge zur Verfügung stehen und die sich durch ihre besondere Eigenart ebenfalls ein vorbestimmtes Anwendungsfeld erobern werden, das entweder konstruktives Neuland ist oder dort, wo sich ein bisheriger Werkstoff als unterlegen erweisen sollte. Der deutsche Konstrukteur von heute hat es nicht ganz so einfach. Auf der einen Seite sind ihm die Werkstoffe etwas knapp zugemessen, auf der anderen Seite werden ihm neue Werkstoffe zum Teil im Ueberfluß angeboten. Hier muß er einsparen und ausweichen in den zweiten Werkstoff, ohne dort etwa zu verschweigen. Es sind oft sehr übergeordnete und wichtige Gesichtspunkte, die die staatliche Wirtschaftslenkung veranlassen, im einen Falle die Anwendung zu bremsen, im zweiten Falle den Verbrauch anzuregen, Gesichtspunkte, die, der Natur der Sache entsprechend, nicht jedem bekanntgegeben werden können. Was aber jedem bekannt sein muß, das ist das vorhin aufgezählte Wissen um den Werkstoff. Mehr als in anderen Ländern muß gerade der deutsche Konstrukteur ein vielseitiger Werkstoffachmann sein. Diese Kenntnisse werden uns dann auch einen Vorsprung sichern. Unsere Werkstoffsorgen von heute werden die Werkstoffsorgen von morgen in der übrigen Welt sein, denn die allgemeine Entwicklungstendenz geht überall nach einer Wandlung der Werkstoffe und ihrer Anwendung.

Rücksichtsloser Leichtbau heißt die Forderung, die wir stellen müssen, wobei bevorzugt an Leichtmetallbau und an äußerste Sparsamkeit zu denken ist. Der Konstrukteur ist verantwortlich für den werkstoffrichtigen Einsatz des Materials. Um das aber sein zu können, muß er den Werkstoff in allen seinen Einzelheiten ganz genau kennen. Dazu soll uns auch diese Tagung heute verhelfen.

Der Leichtbau als Konstruktionsprinzip

Von Direktor E. Kreißig, Waggonfabrik Uerdingen

Schon im Jahre 1935 habe ich an dieser Stelle über Leichtbau gesprochen, allerdings in der Hauptsache nur über das Gebiet der Fahrzeuge. Inzwischen haben sich aber nicht nur die Verhältnisse grundlegend geändert, sondern auch wesentlich neuere Erkenntnisse sind heute für den Leichtbau bestimmend, der sich nunmehr auf allen Gebieten der Konstruktionstechnik das Feld erobert.

Hand in Hand mit der stürmischen Entwicklung der Technik in den letzten Jahrzehnten ging eine grundlegende Wandlung in unseren technischen Denkgewohnheiten, die auf dem Gebiete der Konstruktionstechnik ihren sinnfälligen Ausdruck im Leichtbau fand. Das Wort „Leichtbau“ selbst läßt den Eindruck entstehen, daß das Schwergewicht dieser neuen technischen Denkweise auf der gewichtmäßigen Einsparung von Baustoffen liegt, und die Meinung vieler ist auch heute noch, daß der Leichtbau lediglich eine Maßnahme zur Bekämpfung der Rohstoffknappheit bedeutet, ja, was noch schlimmer ist, daß diese Gewichtsverminderung mit Einbußen in der Qualität erkauft werden müsse. Das gerade Gegenteil

ist der Fall. Der Leichtbau ist in erster Linie ein Mittel zur Qualitätssteigerung unserer technischen Produkte durch eine sinnvolle Ausnützung der in unseren Rohstoffen vorhandenen Eigenschaften. Er war schon zu einer Zeit Notwendigkeit geworden, als wir Ueberfluß in Rohstoffen besaßen und uns ohne Gefährdung lebenswichtiger Interessen den Luxus der Materialverschwendung leisten konnten. Wie anders wären wohl die überraschenden Erfolge des modernen Flugzeugbaues ermöglicht worden, wenn nicht durch eine extreme Anwendung von Leichtbauprinzipien. Aber auch auf anderen Gebieten ergab sich mit der natürlichen Steigerung der Anforderungen an Leistungsfähigkeit die zwingende Notwendigkeit zum Leichtbau, insbesondere auf dem Gebiete des Verkehrs, des Hochbaues, und neuerdings auch im Werkzeugmaschinenbau wie auch im allgemeinen Maschinenbau.

Aber nicht nur das Bedürfnis nach Qualitätssteigerung führte zum Leichtbau, sondern auch die Notwendigkeit, auf kleinstem Raume größte tech-

nische Wirkungen zu entfalten, oder, bei Fahrzeugen, die sich steigernden Verkehrsbelange. Insbesondere war es die Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit, die den Leichtbau im Fahrzeugbau wesentlich förderte, außerdem aber auch die Notwendigkeit größter Wirtschaftlichkeit, insbesondere durch Bekämpfung des Verschleißes. Welch außerordentliche Bedeutung dem Leichtbau als Mittel zur Leistungssteigerung zukommt, möge folgendes Beispiel zeigen:

Zahlentafel 1

STRASSENBAHNWAGEN			
Gewicht	Anfahrleistung	Sleigfähigkeit Beschleunigung	Gewinn
13,5 t	100%	100%	0
14,5 t	140%	$140 \frac{13,5}{14,5} = 130\%$	30%
10 t	100%	$100 \frac{13,5}{10} = 135\%$	35%
11 t	140%	$140 \frac{13,5}{11} = 172\%$	12%

Soll entsprechend Zahlentafel 1 für einen Straßenbahnwagen zweiachsiger Bauart in der üblichen Schwerbauweise, dessen Gewicht etwa 13,5 t beträgt, die Reisegeschwindigkeit erhöht werden, so muß vor allem die Anfahrbeschleunigung vergrößert werden. Diese Vergrößerung ist einmal möglich durch Verbesserung der Motorleistung. Würde man die Motorleistung z. B. um 40% und dabei das Eigengewicht auf Grund dieser Leistungssteigerung von 13,5 t auf 14,5 t steigern, so würde die Anfahrbeschleunigung von 100 auf

$$140 \cdot \frac{13,5}{14,5} = 130$$

erhöht, d. h. dieselbe würde um 30% wachsen. Die Leistungssteigerung von 40% wurde also durch die durch sie bedingte Gewichtserhöhung auf 30% in ihrer Wirksamkeit herabgedrückt. Ein anderer Weg ist aber die Verringerung der Maße bzw. des Gewichtes. Wird das Gewicht des Fahrzeuges von 13,5 t auf 10 t gesenkt, was nach den heutigen Prinzipien des Leichtbaues ohne weiteres möglich ist, so ergibt diese Senkung eine Steigerung der Anfahrbeschleunigung um 35%, was nicht nur eine Vergrößerung gegenüber dem ersterwähnten Hilfsmittel darstellt, sondern auch eine erhebliche Einsparung an Strom mit

Zahlentafel 2

G Ü T E R W A G E N		
	Schwerbau	Leichtbau
Leergewicht in t	12,5	9,5
Bruttogewicht in t	32	32
Ladung in t	19,5	22,5
Eine Tonne Leergewicht trägt in t	1,56	2,37
in Prozenten	100%	152%
Anz. d. Wagen für 156 t Ladung	8	7
Verringerung der Zuglänge von 100% auf 88%		

sich bringt, so daß das erwünschte Ziel ohne Steigerung der Betriebskosten in weit vollkommenerer Weise erreicht wird als durch eine Erhöhung der Motorleistung. Aehnliche Gedankengänge sind aber auch für die Personalfahrzeuge der Reichsbahn ausschlaggebend. Auch hier ist z. B. das Fassungsvermögen eines D-Zuges durch die Lokomotivleistung, insbesondere im gebirgigen Gelände, begrenzt. Es liegt im Bereich der Möglichkeit, die heutigen Zuggewichte durch Leichtbau um 30% zu senken, was einer entsprechenden Vergrößerung der Fassungsvermögen der Züge gleichkommt, ohne ein Mehr an Betriebsausgaben.

Aber auch für Güterwagen ergeben sich die gleichen Gesichtspunkte, wie z. B. aus Zahlentafel 2 hervorgeht. Dieser Betrachtung ist ein Kesselwagen mit einem Leergewicht von 12,5 t zugrunde gelegt, dem der gleiche Wagen in Leichtbauart mit einem Gewicht von 9,5 t gegenübergestellt ist. Es ergibt sich für dieses Beispiel, daß eine Tonne Leergewicht in der Schwerbauweise 1,56 t Ladung trägt, während beim Leichtbaufahrzeug 2,37 t Ladung auf eine Tonne Leergewicht kommen. Das bedeutet eine Steigerung der Leistungsfähigkeit des Materials um 52% und dabei auch eine Verringerung der Zuglänge von 100% auf 88%.

Von ebenso weittragender Bedeutung ist die Betriebskostensparnis durch Verschleißminderung im Leichtbau bzw. die Herabsetzung des Brennstoff- bzw. Stromverbrauchs. Die Abnutzung des Oberbaues, der Radreifen, der Bremsklötze usw. ist durch das Wagen-gewicht bedingt. Nach einer überschlägigen Rechnung von Herrn Obergeringieur Japp der Kreis-Ruhrorter Straßenbahn ergibt sich für 1 kg Fahrzeuggewicht ein durchschnittlicher Betriebskostensatz von 0,53 RM. je Kilogramm und Jahr. Parallele Ermittlungen bei anderen Verwaltungen in stark gebirgigem Terrain ergaben noch höhere Werte, so daß man mit rund 600,— RM. Betriebskosten je Tonne und Jahr beim Straßenbahnwagen rechnen kann. Aehnliche Untersuchungen mit den Fahrzeugen der Deutschen Reichsbahn sollen einen Unkostensatz von 0,38 RM. je kg und Jahr ergeben haben.

Wie erklärt es sich nun, daß eine so nutzbringende Disziplin verhältnismäßig spät allgemeinen Eingang in die Technik fand? Der Grund hierfür liegt in der früher vorherrschenden statischen Denkweise, die rein auf den Kraftbegriff abgestellt war. Die Konstruktion mußte gegebenen Kräften standhalten, wobei es vollkommen gleichgültig war, ob einzelne Querschnitte überdimensioniert waren. Die Hauptsache war, daß die schwächsten Querschnitte nicht überbeansprucht wurden. Damit entfiel von selbst die Notwendigkeit der Materialeinsparung. Man berechnete lediglich die schwächsten Querschnitte und bestimmte die weitere Formgebung nach untergeordneten Gesichtspunkten, ohne dabei die schädlichen Auswirkungen unzuweckmäßig angeordneter Gewichte zu berücksichtigen. Zeigte sich eine Konstruktion zu schwach, so verstärkte man die bruchanfälligen Teile, d. h. man beseitigte das Uebel durch Gewichtsvermehrung. Demgegenüber basiert die neuere Konstruktionstechnik auf dem Arbeitsbegriff. Die Erhöhung der Leistungen auf allen Gebieten, insbesondere das Wachsen der Geschwindigkeiten, führte zu einer dynamischen Betrachtungsweise: Die Konstruktion mußte nicht nur den anfallenden Kräften, sondern auch den auftretenden Arbeitsgrößen gewachsen sein. Zeigt sich eine solche Konstruktion als zu schwach, so muß sich der Konstrukteur fragen, wie erhöhe ich die Arbeitsfähigkeit der Konstruktion. Das sicherste Mittel hierzu ist die Angleichung

aller Beanspruchungen an eine gegebene Beanspruchungsgrenze, d. h. der Konstrukteur muß von allen Teilen der Konstruktion, welche zu niedrig beansprucht sind, Material hinwegnehmen, um damit ihre Beanspruchung bzw. ihre Arbeitsfähigkeit zu heben. Somit führt diese Betrachtungsweise automatisch zur Gewichtsverminderung, zum Leichtbau.

Damit soll aber keineswegs gesagt sein, daß der Leichtbau nur für dynamisch beanspruchte Konstruktionen gegeben ist, er ist vielmehr ebenso für rein statisch beanspruchte Bauwerke Notwendigkeit. Für Konstruktionen, welche kraftbedingt sind, ist selbstverständlich für alle Glieder der gleiche Sicherheitsgrad zweckmäßig, d. h. solche Konstruktionen können nach dem gleichen Prinzip wie dynamische erstellt werden. Die dabei gewonnene Gewichtseinsparung bedeutet eine Minderung der Belastungsgrößen und gibt die Möglichkeit weiterer Gewichtseinsparung. Selbstverständlich gibt es Bauvorhaben, für welche die prinzipiellen Gesichtspunkte vielfach andere sind als bei dynamisch bestimmten Konstruktionen. Ein treffendes Beispiel hierfür liefert der Werkzeugmaschinenbau. Mit der Vervollkommnung und Verfeinerung der Arbeitsverfahren ergab sich die Notwendigkeit des Baues von erschütterungsfreien Maschinen, d. h. dieselben dürfen unter gegebenen Belastungen nur geringe Durchbiegungen zeigen, müssen also einen hohen Steifheitsgrad entwickeln. Dieser Forderung wird am zweckmäßigsten dadurch Genüge geleistet, daß man das verfügbare Material möglichst an den Grenzen des zur Verfügung stehenden Raumes anordnet, um auftretende Biegungs- und Verdrehungsmomente mit möglichst kleiner Beanspruchung aufzunehmen. Damit ergibt sich die prinzipielle Forderung bester Raumausnutzung bei steifen Gebilden. Selbstverständlich müssen die Begrenzungswände solcher Hohlgebilde entsprechend aufgesteift sein, wie z. B. in der Zellenbauweise der Diskuswerke, über die an anderer Stelle noch näher berichtet wird. Gebilde dieser Art sind sehr leicht, und so werden auch durch die Verringerung der Massen und Gewichte Schwingungserscheinungen in wirksamer Weise bekämpft. Ein einfaches Beispiel möge nun die Leichtbaugestaltung in diesem Sonderfall dartun.

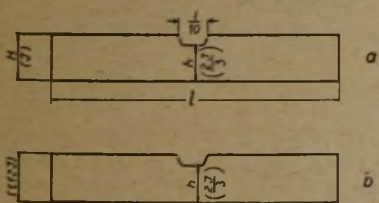


Abb. 1: Gekerbter Träger

Die Abb. 1 stellt einen Träger dar, und zwar soll derselbe möglichst steif ausgeführt werden. Auf $\frac{1}{10}$ seiner Länge kann der Träger nur mit der Höhe h , sonst aber mit der

Höhe H ausgeführt werden. Der letzteren Höhe entspricht ein Trägheitsmoment J , der Höhe h ein solches im Werte von $\frac{2J}{3}$. Die Steifigkeit des glatt durchlaufenden Trägers von der Höhe H sei zu 100% angenommen. Durch den mittleren Ausschnitt sinkt dieselbe auf 92%, was einen geringen Verlust bedeutet. Dieser läßt sich durch eine kleine Erhöhung des Trägheitsmoments des höheren Trägerteils auf 112% wettmachen, was durch eine geringe Trägererhöhung erreicht werden kann (Abb. 1 b). Wollte man aber die Steifigkeit von 100% durch einen Träger von der Höhe h erreichen, so müßte dieser Träger ein Trägheitsmoment von der Größe $0,95J$ besitzen, was bei der Höhe h eine wesentliche Gewichtsvermehrung und damit größere Schwingungsfähigkeit bedeuten würde.

Dieses einfache Beispiel zeigt bereits, daß das optimale Maß an Steifigkeit nur durch eine vollkommene Raumausnutzung im Sinne des Leichtbaues, d. h. durch eine möglichst ausladende Anordnung des tragenden Materials erreicht werden kann, wobei kleinere Raumbeschränkungen, wie Einschnitte usw. keine wesentliche Rolle spielen, sofern nur im höchstbeanspruchten Querschnitt die Dauerfestigkeit nicht überschritten wird.

Wesentlich anders liegt jedoch die Sache, sofern ein solcher Träger dynamisch durch stoßartig wirkende Lasten beansprucht wird. In diesem Falle ist die Arbeitsfähigkeit der Konstruktion von ausschlaggebender Bedeutung. Betrachten wir wiederum den Träger nach Abbildung 1 a, so ergibt derselbe bis zur zulässigen Höchstbeanspruchung im schwächsten Querschnitt eine Arbeitsfähigkeit A . Wird aber der Träger durchgehend mit der Höhe h hergestellt, so steigt seine Arbeitsfähigkeit bei der gleichen Höchstbeanspruchung um 43%, das Gewicht erfährt aber gleichzeitig eine wesentliche Verminderung. — Dieses Beispiel zeigt in eindeutiger Weise den qualitätssteigernden Wert sinnvoller Gewichtsverminderung im Sinne des Leichtbaues. Beide Beispiele aber zeigen, daß optimale Wirkungen sowohl im Statischen als auch im Dynamischen nur durch Leichtbau zu erreichen sind.

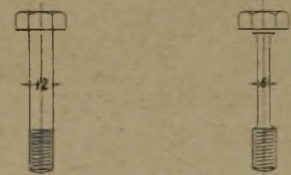
Das letztere Beispiel führt uns bereits in das Gebiet der Gestaltfestigkeit, dessen Erschließung wir den Forschungen von Herrn Professor Dr. A. Thum (Darmstadt) verdanken, die in allererster Linie auf eine Qualitätsverbesserung durch konstruktive Maßnahmen gerichtet sind, und diese liegen stets im Sinne des Leichtbaues.

Ein recht einfaches und überzeugendes Beispiel hierfür ist die Dehnschraube (Abb. 2).

Bezeichnet d den Schaftdurchmesser des abgesetzten Schaftteils und d_1 den Kerndurchmesser des Gewindes, so läßt sich d bei gleicher Bruchsicherheit im Schaft wie im Gewinde bedeutend geringer wählen als d_1 . Damit ergibt sich aber ein sehr großer Zuwachs an Arbeitsfähigkeit. Bezeichnet d_0 den Durchmesser des ungeschwächten Schaftteils und A seine Arbeitsfähigkeit, so ergibt sich für den abgesetzten Schaftteil eine

$$\text{Arbeitsfähigkeit von } A_1 = A \cdot \frac{d_0^2}{d^2}$$

Die Arbeitsfähigkeit wächst somit in umgekehrt quadratischem Verhältnis zum Durchmesser. Wird z. B. bei der Schraube nach Abb. 2 der Schaftdurchmesser von 12 auf 6 mm verringert, so wird



Stabschraube

Dehnschraube

Abb. 2

die Arbeitsfähigkeit auf das beinahe Vierfache gehoben, so daß solche im Durchmesser geschwächten Schrauben die vierfach größeren dynamischen Wirkungen aushalten als früher. In Wirklichkeit ist ihre qualitative Verbesserung viel weitreichender, da zusätzliche Biegungsbeanspruchungen durch schräge Auflageflächen von Kopf und Mutter oder ähnliche Einflüsse weit geringere Zusatzbeanspruchungen erzeugen als bei stärkerem Schaftdurchmesser.

Wesentlich für die zweckmäßigste Ausbildung von Leichtbaukonstruktionen ist aber nicht nur die Höhe und Gleichmäßigkeit der Beanspruchungen, sondern auch die Art derselben. Zum Beispiel werden Zug, Druck und Scherung den Beanspruchungen auf Biegung und Verdrehung in bezug auf Arbeitsfähigkeit stets überlegen bleiben. So hat ein auf Biegung be-

anspruchter Stab von rechteckigem Querschnitt nur $\frac{1}{3}$ der Arbeitsfähigkeit des gleichen Stabes, wenn er rein auf Zug oder Druck beansprucht wird.

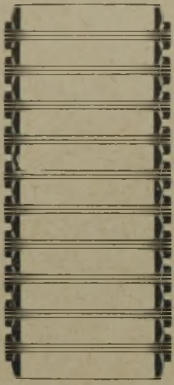
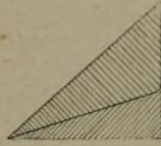


Abb. 3: Ringfeder

Ein treffendes Beispiel hierfür ist die Ringfeder (Abb. 3). Sie besteht aus geschlossenen Außen- und Innenringen, die mit korrespondierenden Keilflächen ineinandergreifen. Bei axialem Druck auf die Feder ergeben sich in den Außenringen reine Zugbeanspruchungen und entsprechende Zugbeanspruchungen in den Innenringen. Eine gleich schwere Blattfeder der gebräuchlichen Art würde rein elastisch nur $\frac{1}{3}$ der Federungsarbeit aufnehmen, tatsächlich ist aber ihre Wirkung im Verhältnis noch weit geringer, da die Ringfeder noch eine erhebliche Reibungsarbeit leistet.



Ebenso würde ein Federrohr von geringer Wandstärke auf Verdrehung bei gleichem Gewicht das Doppelte an spezifischer Arbeitsfähigkeit hergeben wie ein voller Rundquerschnitt, weil wir es beim dünnwandigen Rohr fast mit reiner Scherbeanspruchung zu tun haben.

Nun haben aber die Forschungsergebnisse der letzten Jahre dem Leichtbau einen neuen Weg gewiesen. Die bisher angenommene Gleichwertigkeit von Zug- und Druckbeanspruchung besteht im Dynamischen nicht. Es zeigte sich, daß Druckbeanspruchung der Zugbeanspruchung weit überlegen ist, sofern dynamische Belange in Frage kommen. Zum Beispiel ergaben sich für gehärteten Federstahl die in Zahlentafel 3 wiedergegebenen Zahlen. Diese zeigen, daß die Ursprungsfestigkeit auf Zug weit geringer ist als die auf Druck, und daß unter ungünstigen Verhältnissen für dieses Material die Zugdauerfestigkeit nur einen geringen Bruchteil der Druckdauerfestigkeit erreicht. Was dies bedeutet, will ich an dem Beispiel der Ringfeder zeigen.

Zahlentafel 3

Beschaffenheit der Oberfläche	Zugfestigkeit kg/mm ²	Streckgrenze kg/mm ²	Ursprungsfestigkeit für		Verhältnis der Ursprungsfestigkeit auf Zug und Druck
			Zug kg/mm ²	Druck kg/mm ²	
poliert	164,5	150,4	120	165	1 : 1,375
verletzt	162,2	143	95	153	1 : 1,611
poliert (bei Korrosionseinfluß)	160	143	15	157	1 : 10,46

Die in Abb. 4a dargestellte Ringfeder mit Innen- und Außenringen gleichen Querschnitts, d. i. gleicher Beanspruchung, habe eine Arbeitsfähigkeit A. Werden nun die Innenringe so weit im Querschnitt verringert, daß ihre Beanspruchung 30% höher liegt als die der Zugringe, so verringert sich das Gewicht der ganzen Feder um 11,5%, wogegen die Arbeitsfähigkeit um 15% steigt. Dies bedeutet bei namhafter Gewichtsverminderung eine erhebliche Steigerung der Arbeits-

fähigkeit. Würde man die Innenringe 50% höher als die Außenringe beanspruchen, so würde die Gewichtsverminderung 17% und die Steigerung der Arbeitsfähigkeit aber 25% betragen.

Aber nicht nur bei gehärteten Federstählen können wir mit diesen Verhältnissen rechnen, vielmehr besteht bei anderen Stahlsorten eine ähnliche Beziehung zwischen dynamischer Zug- und Druckfestigkeit. Versuche in den Vereinigten Staaten ergaben zum Beispiel für einen weichen Stahl von 41 kg/mm² Festigkeit eine um 70%

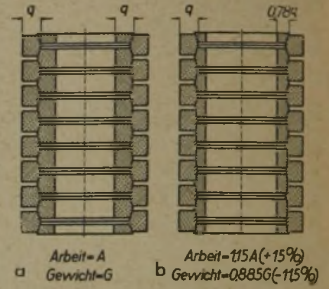


Abb. 4a und 4b: Ringfeder

höhere Drucker-müdungsfestigkeit gegenüber Zug. Selbstverständlich muß der Leichtbaukonstrukteur diesen Gegebenheiten Rechnung tragen. Ein einfaches Beispiel diene zur Erläuterung. Abb. 5a stellt einen Doppel-T-Träger von symmetrischer Gestalt mit einem Trägheitsmoment von 450 cm⁴, einem Widerstandsmoment von 90 cm³ und einer Arbeitsfähigkeit von $9 \cdot \frac{\sigma^2}{E}$ dar. Der Träger nach Abb. 5b entsteht aus dem

Träger 5a durch Verschmälerung des Druckflansches auf die Hälfte desjenigen vom symmetrischen Träger. Dieser Träger ergibt ein Widerstandsmoment von 81,5 cm³ auf die Zugseite bezogen, ein Trägheitsmoment von 326 cm⁴ und eine Arbeitsfähigkeit von $10,2 \cdot \frac{\sigma^2}{E}$. Dieser Träger ist somit statisch schwächer als der symmetrische, dynamisch aber wertvoller. Nach

Abb. 5a	Abb. 5b	Abb. 5c
22 kg/m	18,1 kg/m	19,6 kg/m
$W_1 = 90 \text{ cm}^3$	$W_2 = 81,5 \text{ cm}^3$	$W_3 = 90 \text{ cm}^3$
$J_1 = 450 \text{ cm}^4$	$J_2 = 326 \text{ cm}^4$	$J_3 = 368 \text{ cm}^4$
$A_1 = 9 \frac{\sigma^2}{E}$	$A_2 = 10,2 \frac{\sigma^2}{E}$	$A_3 = 10,94 \frac{\sigma^2}{E}$
Gewicht = 100	- 17,8%	- 10,7%
Arbeitsfähigkeit = 100	+ 13,4%	+ 21,5%

Abb. 5: Querschnitte bei dynamischer Beanspruchung

dem gleichen Prinzip läßt sich aber auch ein Träger ermitteln, der statisch dem Träger nach Abb. 5a gleichwertig ist, dynamisch aber wertvoller, und dies bei geringerem Gewicht. Es ist dies ein Träger nach Abb. 5c. Derselbe entsteht aus dem Träger nach Abb. 5a, indem man den Zugflansch um 1 cm breiter, den Druckflansch aber um 4 cm schmaler macht. Das Widerstandsmoment für die Zugseite beträgt bei diesem Träger 90 cm³, seine Arbeitsfähigkeit jedoch $10,94 \cdot \frac{\sigma^2}{E}$. Gegenüber dem Träger nach Abb. 5a ergibt der Träger nach Abb. 5b eine Gewichtsersparnis von 17%, einen Verlust an statischer Tragfähigkeit von 9,4% und einen Gewinn an dynamischer Festigkeit von 13,3%. Der Träger nach Abb. 5c hingegen ist gegenüber dem Träger nach Abb. 5a um 10,7% leichter und dynamisch um 21,5% wertvoller bei statischer Gleichwertigkeit. Letztere gilt allerdings nur für die Zugseite, jedoch kann die Druckseite auch bei statisch

schen Konstruktionen höher belastet sein, da es wohl kaum statische Konstruktionen gibt, die nicht auch gelegentlich Schwingungs- und Stoßbeanspruchungen ausgesetzt sind. Im allgemeinen trägt man diesem Umstand durch Sicherheitszuschläge Rechnung. Letztere sind aber nur für die Zugfaser berechtigt, da in den Druckfasern ein größerer Arbeitsüberschuß vorhanden ist. Ueber die Verschiedenheit der Zug- und Druckbeanspruchungen entscheidet der jeweilige Konstruktionsfall, in obigem Beispiel wurde die Druckseite 50% höher als die Zugseite beansprucht.

Die gleichen Wirkungen lassen sich aber auch für symmetrische Gebilde durch **Vorspannungen** erreichen. Da die Dauerfestigkeit auf Zug tiefer liegt als die auf Druck, so wird durch eine gleichmäßige Druckbeanspruchung der arbeitenden Fasern die Betriebsspannung auf Zug herabgesetzt, die auf Druck erhöht. Was auch rein statisch durch Vorspannung zu erreichen ist, zeigt das von der Firma Fried. Krupp AG., Rheinhäusen, in den Handel gebrachte Istegeisen (Abb. 6).

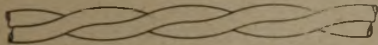


Abb. 6: Istege-Eisen von Krupp

Dasselbe besteht aus zwei Rundstäben, welche so unter Einspannung verdrillt werden, daß sich das ganze Gebilde bei der Verdrehung axial nicht verkürzen kann. Die Folge davon ist eine unelastische Dehnung der einzelnen Stäbe, wodurch die Streckgrenze um etwa 50% heraufgesetzt wird. Damit ergibt sich eine entsprechende höhere Belastungsfähigkeit, so daß sich für die gleiche Tragfähigkeit wie bei glatten Moniereisen eine Gewichtseinsparung von 33% ergibt.

Bevor ich auf weitere Beispiele der Druckvorspannung eingehe, möchte ich hierzu noch etwas Prinzipielles erwähnen. Die Bruchursache ist je nach der Beschaffenheit der Baustoffe verschieden. Wir unterscheiden zwischen dem Trennungsbruch und dem Gleitbruch. Ersterer tritt bei spröden Materialien auf, bei denen der Trennwiderstand der Fasern geringer ist als der Gleitwiderstand, wie z. B. bei Gußeisen, aber auch bei Werkstoffen hoher Kerb- und Oberflächenempfindlichkeit, wie vergüteten und gehärteten Stählen. Bei Baustoffen, bei denen der Trennwiderstand größer ist als der Gleichwiderstand, also bei zähen Werkstoffen, wie z. B. Flußstahl, tritt der Gleitbruch ein, d. h. der Bruch erfolgt durch Gleitzerrüttung, für welche die Schubspannungen ausschlaggebend sind, während beim Trennungsbruch die Normalspannungen den Bruch herbeiführen. Da nun aber durch die Druckvorspannungen eine Erhöhung der Schubspannungen erfolgt, so ergibt sich für zähe Baustoffe kein Nutzen aus der Vorspannung, sofern einfache Wechselbiegung in Frage kommt. Tritt zu derselben aber ein statischer Querdruck (Schrumpfring), so ist auch bei diesen zähen Werkstoffen eine Vorspannung von Nutzen, ebenso auch beim Vorhandensein von Kerben. Durch den Querdruck werden die Normalspannungen ungünstig beeinflusst. Diese ungünstige Wirkung wird durch eine Druckvorspannung aufgehoben, während letztere die Schubspannungen weniger beeinflusst. Ich möchte bei dieser Gelegenheit auf die grundlegenden Versuche von Seeger über die Wirkung von „Druckvorspannungen“ auf die Dauerfestigkeit metallischer Werkstoffe“ VDI-Verlag, 1935, hinweisen.

Druckvorspannungen lassen sich nun auf die verschiedenste Art erzeugen, am einfachsten wohl bei Hohlstäben durch Anwendung eines Ankers, welcher den inneren Hohlraum ganz oder teilweise ausfüllt und durch seine Zugspannung den Hohlstab axial auf Druck vorspannt. Ein solcher Hohlstab bzw. eine solche Hohlwelle ist tragfähiger als eine entsprechende Vollwelle

gleichen Durchmessers, sofern oben gekennzeichnete Bedingungen gegeben sind. Ebenso lassen sich Druckvorspannungen durch eine entsprechende Behandlung des Werkstückes erreichen, z. B. durch eine Kaltverformung der Oberfläche, wie Ziehen, Drücken (Kugelregen, Prägepolieren). Wird die Oberfläche gedrückt, so dehnen sich nicht nur die gedrückten Fasern, sondern auch die darunterliegenden. Werden dabei die Oberflächenfasern plastisch verformt, so versuchen die unter Zug stehenden Innenfasern das Material der Oberfläche in den alten Zustand zurückzuführen, so daß infolge der vorhergegangenen plastischen Verformung Druckspannungen in der Oberfläche entstehen. Ebenso lassen sich wirksame Druckvorspannungen durch eine entsprechende Wärmebehandlung erreichen. Z. B. treten beim Abschrecken eines Stahlzylinders axiale Zugspannungen im Kern und axiale Druckvorspannungen an der Oberfläche auf. Durch das Nitrieren des Stahls tritt in den Oberflächenfasern des behandelten Werkstückes eine Volumenvergrößerung ein, welche gleichfalls die Oberflächenschicht unter Druckvorspannung setzt. Wenn auch diese Zone verhältnismäßig dünn ist, so ergibt sie trotzdem einen erheblichen Zuwachs an Dauerfestigkeit, da letztere ja in der Hauptsache von der Beschaffenheit der Oberfläche abhängig ist.

Ein weiteres Beispiel der Erzeugung von Druckvorspannungen zeigt Abb. 7. Aus den zwei T-Trägern der Abb. 5a ergibt sich durch Zusammenschweißen der vorgebogenen Stäbe das Doppel-T-Profil der Abb. 7b, wodurch die Außenflanschen auf Druck vorgespannt werden, während im Steg Zugspannungen entstehen. Letztere sind aber ohne Bedeutung, da die Betriebsspannungen im Steg an sich gering sind.

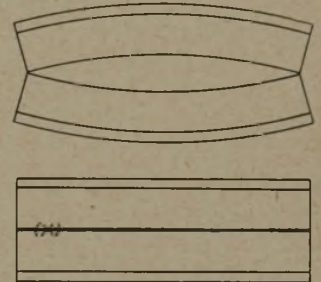


Abb. 7a und 7b: Träger mit auf Druck vorgespannten Flanschen

Alle diese auf Leichtbau gerichteten Maßnahmen bedingen eine Qualitätserhöhung oder aber gestatten ohne eine Herabsetzung der Tragfähigkeit eines Organs eine wesentliche Gewichtsverminderung bzw. eine Verkleinerung der Abmessungen. Letztere bedingt aber eine weitere Qualitätserhöhung der Konstruktion, und zwar sowohl statisch als auch dynamisch. So z. B. zeigt sich, daß dünnere Querschnitte eine weit höhere Dauerfestigkeit aufweisen als dickere. Maßgebende Werte über die Beeinflussung der Dauerfestigkeitswerte durch die Querschnittsabmessung sind noch nicht ermittelt, jedoch ergeben sich je nach den Querschnittsunterschieden erhebliche Differenzen. Nach Lehr dürfte beispielsweise ein Rundstab von 150 mm Durchmesser nur ungefähr 60 % der Dauerbiegefestigkeit eines Stabes von 7,5 mm Durchmesser erreichen. Das gleiche gilt aber auch für Verdrehungsbeanspruchung. Versuche von Lehr am Materialprüfungsamt Dahlem ergaben für einen Durchmesser von 37 mm eine Dauerdrehfestigkeit von 22 kg/mm², dagegen für einen Querschnitt von 15 mm Durchmesser eine solche von 30 kg/mm², also 36% mehr als für den dickeren Querschnitt.

Aber nicht nur im Dynamischen, sondern auch im Statischen sind die gleichen Tendenzen festzustellen. Der Vollständigkeit halber seien hier Versuche der Physikalischen Anstalt der Universität Greifswald erwähnt, die durch Reinke an sehr dünnen Quarzfäden durchgeführt wurden. Das Ergebnis dieser Versuche ist in Abb. 8 veranschaulicht. In dieser Abbildung bedeuten die Abszissen die Durchmesser in μ , die Ord-

naten die für diese Durchmesser erreichten Festigkeiten. Die ausgezogene Linie ist die Umhüllende aller gefundenen Höchstwerte. Es ergab sich nun die interessante Tatsache, daß mit abnehmendem Durchmesser die Festigkeit sehr stark anstieg, daß sie zum Beispiel bei $\frac{1}{500}$ mm Dicke des Fadens ungefähr 16mal so groß war wie bei $\frac{1}{10}$ mm Fadendicke. Selbstverständlich haben diese Versuche vorläufig für uns keinen praktischen Wert, jedoch weisen sie auf die Bedeutung der Bemessung der Fadendicke hin.

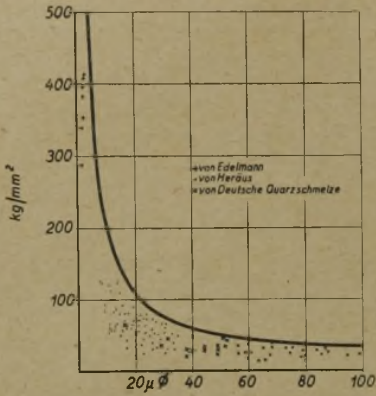


Abb. 8: Zerreißfestigkeit von Quarzfden

Auf Grund dieser Versuche wurden von W. Kloug t Zerreißversuche an Stäben verschiedener Dicke angestellt, die aus der gleichen Stahlcharge gefertigt waren, den gleichen Verarbeitungszustand aufwiesen und 36 Stunden geglut waren. Das Ergebnis dieser Zerreißversuche zeigt

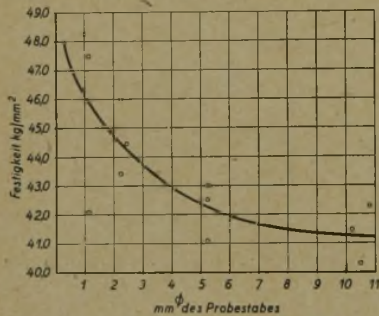


Abb. 9: Zerreißversuche an Probestäben verschiedener Durchmesser

Abb. 9, und zwar bedeuten auch hier die Abszissen die Durchmesser in Millimeter, die Ordinaten die zugehörigen Festigkeiten in kg/mm^2 , beginnend im Ordinatenursprung mit 40. Die ausgezogene Linie stellt das Mittel der gefundenen Werte

dar. Auch hier zeigt sich eindeutig eine Festigkeitserhöhung, die bei Stäben von 1 mm \varnothing gegenüber solchen von 11 mm \varnothing etwa 11% beträgt. Wenn diese Versuche auch zunächst nur als Tastversuche zu werten sind, so zeigen sie doch bereits klar den günstigen Einfluß dünner Materialstärken auf die Beanspruchungsfhigkeit des Materials. Es wäre zu begrüßen, wenn weiter gehende Versuche nach dieser Richtung angestellt würden, um den Einfluß des Verhältnisses von Volumen zur Oberfläche oder auch des Verhältnisses der Querschnittsgestaltung an sich eindeutig festzulegen.

Eine besondere Förderung erfuhr der Leichtbau durch die Schweißung, da diese neue Verbindungsart den Forderungen der Gestaltfestigkeit in weitestem Maße entgegenkommt.

Ganz besonders war es die Elektroschweißung, welche eine vorteilhafte Gestaltung im Sinne des Leichtbaues gestattete, und in erster Linie setzte die Neugestaltung bei den Verbindungsmitteln ein. Abb. 10 zeigt in der oberen linken Figur eine genietete Knotenblechverbindung, rechts oben die geschweißte Kopie. Nachdem die Forschung die Unterlegenheit der überlappten Verbindung gegenüber dem Stumpfstoß erwiesen hatte, ging man zur eingeschweißten Verbindung entsprechend der linken unteren Figur über. Aber auch jetzt zeigte sich noch eine gewisse Bruchanfhigkeit in den Querschnitten ee, und zwar einmal als Folge des plötzlichen Querschnittswechsels, zum anderen aber durch Wirkung

von Einbrandkerben am Schweinahtende. Man führt daher hoch beanspruchte Knotenblechverbindungen heute nach der unteren rechten Figur aus. Die Knotenblechenden werden hierbei mit stumpfen Enden an die Flanschen angeschweißt und die schraffiert gezeichneten Teile durch nachträgliche Bearbeitung entfernt. Dadurch werden die Einbrandkerben beseitigt und gleichzeitig ein fließender Uebergang zwischen Flansch und Blechkanten geschaffen. Dieser liegt im Sinne einer Erhöhung der Gestaltfestigkeit und läßt sich für geschweißte Konstruktionen insbesondere in der Blechbauweise durch Schweißung weitestgehend steigern. Es zeigt sich auch hier, daß die leichteste Ausführung zugleich die qualitativ beste ist. Dies Beispiel läßt aber noch ein anderes durch die Elektroschweißung gegebenes Leichtbauprinzip erkennen:

Die früheren Fahrzeugkonstruktionen waren vielfach in ihrem Gewicht nicht durch statische Erfordernisse, sondern durch die Notwendigkeiten des Korrosionsschutzes bestimmt. Insbesondere an schar-

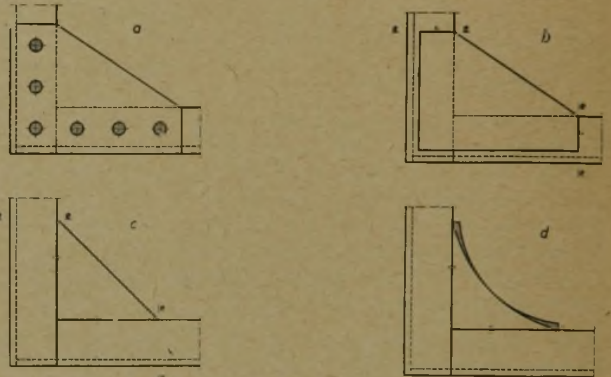


Abb. 10: Knotenblechverbindung

fen, einspringenden Kanten zeigten sich starke Rostbildungen, die den Konstrukteur zwangen, die Wandstärken mit Rücksicht auf Abrosten stärker zu wählen als statisch erforderlich. Betrachtet man solche inneren

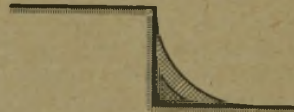


Abb. 11: Korrosion an Ecken

Kanten (Abb. 11), so wird die Schädlichkeit der überlappten Verbindung ohne weiteres klar. Bei Hinzutritt von Wasser füllt sich eine innere Kante mit einem Wasserfaden an, der dann durch Austrocknen allmählich kleiner wird bis zu einem kleinsten Wasserfaden in der inneren Kante. An dieser Stelle wirkt der Korrosionsangriff am längsten. Außerdem aber reicht sich der kleine Wasserfaden mit den Salzen der größeren Wassermenge an, die weit stärker korrodierend wirken als das anfallende Wasser. Weiter aber ergeben sich bei genieteten Verbindungen an solchen Stellen Kapillare zwischen Bodenblech und Träger oder Blech, in die sich nun das stark korrosionsfrdernde Mittel durch Kapillarwirkung einsaugt und das Zerstörungswerk fortsetzt. Durch die stumpf eingeschweißten Verbindungen ist aber dieser Wirkung der Boden entzogen.

Die an diesem Beispiel erkennbare Oberflächengestaltung stellt eine Maßnahme zur Verminderung der Korrosionsanfhigkeit dar und ist deshalb neben der fließenden Formgebung bei Leichtbaukonstruktionen besonders zu beachten.

Außerdem aber hat die Schweißung den Leichtbau noch von einer anderen Seite her beeinflt. Sie ergibt die Möglichkeit neuer Formen, wie z. B. des in Abb. 12 gezeigten Doppel-T-Trägers mit

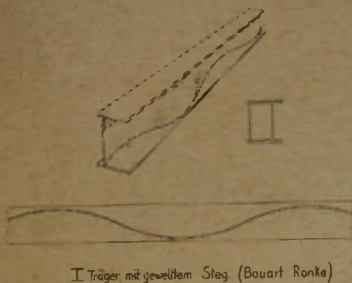


Abb. 12

wo neben Biegung auch noch Verdrehung aufzunehmen ist.

Damit eröffnet sich dem Konstrukteur durch die Elektroschweißung ein vollkommen neues Feld. Bei den Trägerkonstruktionen, wie sie durch die Nietung gegeben waren, konnten Verdrehungen nur in sehr kleinem Maße aufgenommen werden, da diese Träger nicht verdrehungssteif sind. Durch den Doppel-T-Träger mit gewelltem Steg ist bereits ein Träger geschaffen, welcher ein gewisses Maß von Verdrehung, und zwar ein bedeutend größeres als früher üblich, aufzunehmen vermag. Ein weiterer und sehr erheblicher Fortschritt nach dieser Richtung ergibt sich durch den Hohlträger. Man hat die Vorteile des Hohlträgers auch schon früher erkannt, sie aber nur in den wenigsten Fällen verwirklicht, weil der genietete Hohlträger nicht nur schwer, sondern auch weniger wirksam hergestellt werden konnte. Die Nietnähte konnten nicht die Widerstandsfähigkeit des vollen Materials erreichen, dies war lediglich durch die Elektroschweißung möglich. Im Fahrzeugbau wirken häufig auf ein Bauelement Kräfte bzw. Momente aus verschiedenen Richtungen, so daß neben Zug, Druck und Biegung auch Verdrehung in Erscheinung tritt. Allen diesen Beanspruchungen ist nur der Hohlträger gewachsen, und so ist dem Konstrukteur auch die Möglichkeit gegeben, auf Verdrehung beanspruchte Konstruktionen zu schaffen, die insofern von besonderem Interesse sind, als Verdrehung eine sehr weitgehende Ausnützung des Materials zuläßt. Die rechnerische und konstruktive Behandlung solcher Konstruktionen ist verhältnismäßig einfach, außerdem aber gestatten diese Ausführungen eine weitgehende Senkung der Gewichte, ergeben also leichtere Konstruktionen.

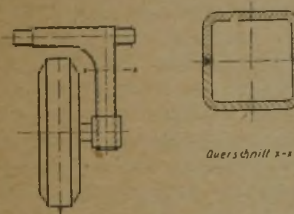


Abb. 13: Schwingachse

Ein typisches Beispiel für die Anwendung des Hohlträgers ist in Abb. 13 dargestellt. Dieselbe zeigt die Ausführung einer Schwingachse, deren Schwingungsebene in der Wagenlängsrichtung liegt. Durch den einseitigen Angriff des Rades entstehen neben Biegung sehr große Verdrehungsbeanspruchungen der Schwinge, die nur durch einen Hohlträger aufgenommen werden können, und zwar durch einen geschweißten Hohlträger. In genietetem Ausführung würde derselbe so schwer und außerdem so groß in seinen Querschnittsabmessungen, daß seine Verwendung nicht möglich wäre.

Im Folgenden möchte ich nun ein Beispiel zeigen, aus welchem hervorgeht, daß durch die sinnvolle Anwendung aller konstruktiven und technologischen Mittel des Leichtbaues neue Formen ermöglicht werden, die auch eine neue Wirkung verbürgen. Es

gewelltem Steg nach Bauart Ronke. Dieser Träger hat neben dem dem Doppel-T-Träger eigenen günstigen Tragfähigkeit auf Biegung einen verhältnismäßig großen Verdrehungswiderstand und wird daher zweckmäßig überall da verwendet,

handelt sich um die Untergestellkonstruktionen zweiaxiger Güterwagen. Die bisher allgemein gültige Ausführungsform ist auf Bild 14 schematisch dargestellt. Ein solches Untergestell besteht aus den Langträgern a, den Mittelstreben c, den Diagonalstreben b und den diese Träger verbindenden Kopf- und Querträgern. Je ein Langträger, eine Mittelstrebe und zwei Diagonalstreben bilden ein Tragsystem in horizontaler Richtung. Zwei solcher Tragsysteme, wie sie schraffiert dargestellt sind, bilden das Untergestell. Wird auf dieses System ein Diagonalstoß ausgeübt, wie er durch die eingezeichnete Kraft P gekennzeichnet ist, so versuchen diese beiden Tragsysteme in ihrer Richtung aneinander vorbeizugleiten. Da diese Systeme auf Arbeit und nicht auf Arbeit gebaut sind, so ist ihre Arbeitsfähigkeit verhältnismäßig gering, so daß auch bereits bei nicht erheblichem Stoßimpuls eine unelastische Verformung eintritt. Der Diagonalstoß ist keineswegs eine Seltenheit. Er dürfte vielmehr als Regel anzusprechen sein, da die Puffer der Fahrzeuge verschiedene Längen besitzen. In neuem Zustand ist nur eine Toleranz von 3 mm zulässig. Diese Toleranz vergrößert sich jedoch im Betrieb durch Anstauchen der Stößel, Setzen der Kopfträger usw. bis zu 10 mm und mehr, so daß beim Auftreffen zweier langer Puffer aufeinander beim Rangierstoß schon der Fall der unelastischen Diagonalverformung gegeben ist. Letztere hat aber sehr nachteiligen Einfluß auf den Lauf der Fahrzeuge. Werden z. B. die Langträger eines Fahrzeugs gegeneinander verschoben, so werden die Achsen entsprechend schräg zum Gleis eingestellt und es ergeben sich zusätzliche Bewegungswiderstände von erheblicher Größe. Beträgt diese Verschiebung z. B. 10 mm, so bedeutet dies für ein Fahrzeug von 30 t Bruttogewicht bei 60 km/h Geschwindigkeit bereits einen Arbeitsverlust von 7 bis 11 PS, je nachdem Einpunkt- oder Zweipunktberührung in Frage kommt. Diese Arbeit ist aber deswegen besonders schädlich, weil sie einmal einen Arbeitsverlust an sich bedeutet, zum anderen aber wirkt sie sich in Zerstörung von Oberbau und Radsätzen aus. Derartige Schädigungen können nur dadurch vermieden werden, daß man die Untergestelle diagonal-elastisch baut, d. h. möglichst arbeitsfähig bei einseitigem Pufferstoß.

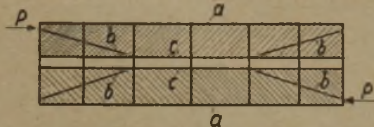


Abb. 14: Konstruktion des Untergestells zweiaxiger Güterwagen

Ein Ausführungsbeispiel einer derartigen Konstruktion ist schematisch in Abb. 15 dargestellt. Das Untergestell nach dieser Ausführung besteht aus den Langträgern a, den Kopfträgern k und dem Querträger q, welche Teile winkelsteif miteinander verbunden sind. Sind die Langträger a und die Kopfträger k genügend steif, so kann der Querträger q entfallen. Erforderlichenfalls können aber auch mehrere Querträger q angewandt werden.

Eine weitere Ausführungsmöglichkeit zeigt Abb. 16, bei welcher an Stelle der Querträger q Mittelstreben e angeordnet sind. Je nach den Konstruktionserfordernissen kann auch eine Kombination von Querträgern q und Mittelstreben e zur Anwendung kommen. Es sind

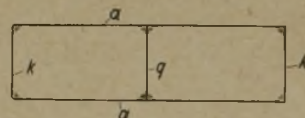


Abb. 15: Ausführungsbeispiel einer Untergestellkonstruktion

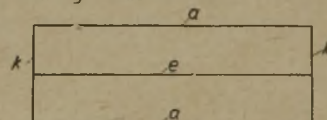


Abb. 16: Ausführungsbeispiel einer Untergestellkonstruktion

jedenfalls sehr viele Konstruktionsmöglichkeiten gegeben und man wird aus denselben für den jeweils vorliegenden Fall die beste herausuchen. Wesentlich ist nur, daß keine diagonalen Streben Verwendung finden, da diese bei der vorliegenden Form dem Arbeitsgedanken entgegenstehen.

Wird auf ein solches Untergestell, z. B. das nach Abb. 15, ein diagonaler Stoß ausgeübt, so verformt es sich entsprechend der Abb. 17. Wie aus diesem

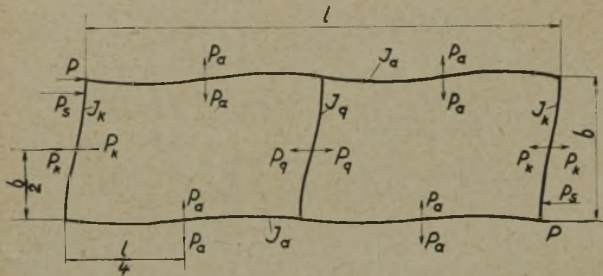


Abb. 17: Verformung des Untergestells durch diagonalen Stoß

Bild ersichtlich ist, nehmen alle Träger gleichmäßig an der Verformung teil. Die größtmögliche Arbeitsfähigkeit wird erreicht, wenn die Kopfträger aus dem gleichen Profil gewählt werden wie die Langträger, während für die Querträger ein Profil von doppeltem Widerstandsmoment bzw. Trägheitsmoment gewählt werden muß.

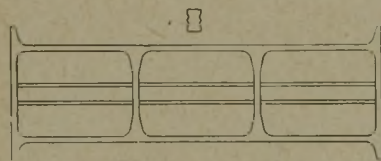


Abb. 18: Rahmendarstellung einer Untergestellkonstruktion

Eine praktische Ausführungsform eines solchen Untergestells, die in Zusammenarbeit zwischen Waggonfabrik Uerdingen und Krupp Rheinhausen entwickelt wurde, zeigt Abb. 18, in der lediglich der Rahmen dargestellt ist. Dieser besteht in seinen wesentlichen Teilen aus den Langträgern, Kopfträgern und zwei Querträgern. Die in der Mitte liegenden Träger sind lediglich Unterstützungen für den Fußboden und an der Verformung des Untergestells nicht oder nur unwesentlich beteiligt. Leng-, Kopf- und Querträger sind als Hohlträger ausgebildet, und zwar, wie der besonders herausgezeichnete Querschnitt erkennen läßt, bestehen diese aus zwei wannenartigen Gebilden, die durch Elektroschweißung zu einem Hohlträger zusammengesetzt werden, dergestalt, daß die Schweißnaht in der Mitte der schmalen Begrenzungswand des Hohlträgers zu liegen kommt. Die schwach gekennzeichneten Linien der Figur zeigen die Schweißnaht an. Die äußere Begrenzung des Langträgers ist an den Enden aufgebogen und bildet mit der äußeren Begrenzung des Kopfträgers bzw. den eingeschweißten Knotenblechen eine starke konsolenartige Ecke. Die innere Begrenzung des Langträgers und auch die Begrenzung von Kopf- und Querträgern besteht aus Rahmenstücken in Form eines Halbportals, die mit den Langträgern bzw. Kopf- und Querträgern unter Zuhilfenahme von Knotenblechen verschweißt sind. Auf diese Weise ergibt sich eine äußerst fließende Formgebung, die eine sichere Einleitung der Kräfte an den Kraftangriffsstellen gestattet und durch Vermeidung von Quernähten jede Kerbwirkung aus der Schweißung selbst unterbindet. Diese Vorsicht ist hier ganz besonders am Platze, da die Schweißnaht des Hohlträgers nicht als vollwertig anzusprechen ist, und

zwar mit Rücksicht auf die fehlende Möglichkeit einer Wurzelverschweißung. Dadurch wird die Wertigkeit der Schweißnaht auf ca. 70% der wurzelverschweißten gedrückt. Es ist dies ein Nachteil des Hohlträgers, der indessen dadurch wettgemacht werden kann, daß man die Schweißnaht in möglichst gering beanspruchte Trägerpartien verlegt (neutrale Faser), und daß man die Schweißnahtführung so gestaltet, daß Kerbwirkungen vermieden werden bzw. die Schweißnaht stärker ausführt.

In welcher vorteilhafter Weise die Schweißung eine Konstruktion zu verbessern vermag, zeigt das Beispiel eines Fahrzeugspantes

(Abb. 19). Die linke Figur gibt den bisher üblichen Fahrzeugspant wieder. Dieser besteht aus den zwei vertikalen Säulen, dem Dachspriegel und dem Querträger,

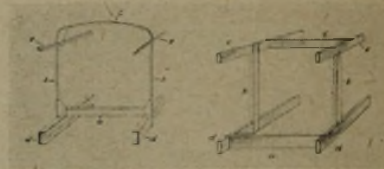


Abb. 19: Ebenes und räumliches Portal

welche in einer Ebene angeordnet und durch Knotenbleche zu einem steifen Rahmen verbunden werden, der wiederum mit den Untergestelllangträgern und den Dachlangträgern zu einem System vereint wird. Wirkt auf dieses System eine Seitenkraft, so entstehen in den einzelnen Spantelementen Biegemomente, die sich aber innerhalb des Spantes ausgleichen bzw. entsprechende Belastungskräfte auf die Langträger erzeugen. Nun lassen sich aber nicht viele derartiger Spanten verwirklichen, weil die Spriegel eine andere Teilung besitzen als die Säulen und diese wieder eine andere als die Querträger. Zuzufolge dieser unterschiedlichen Teilung ergeben sich also nur wenig Spanten, d. h. es läßt sich nur ein verhältnismäßig geringer Teil der vorhandenen Säulen, Spriegel und Querträger für die Spantwirkung ausnutzen.

Wesentlich anders wird die Sache, wenn wir die Langträger als Hohlträger ausbilden. In diesem Falle ergibt sich die Möglichkeit der Schaffung eines räumlichen Profils, wie im rechten Bild der Abb. 19 schematisch dargestellt. Es kommen die gleichen Spantelemente wie beim ebenen Spant zur Verwendung. Dieselben können aber jetzt in beliebigen Querschnittsebenen des Fahrzeugs angeordnet werden und müssen lediglich winkelsteif mit dem Hohlträger verbunden sein. Wirkt auf dieses System eine Seitenkraft, so treten in den einzelnen Spantelementen ebenso große Biegemomente auf wie beim ebenen Spant. Sie werden jedoch von einem Spantelement auf den betroffenen Hohlträger übergeleitet, der dieses Moment als Verdrehungsmoment auf das nächste Spantelement leitet, so daß die zwischen den einzelnen Spantelementen liegenden Hohlträgerteile wie federnde Knotenbleche wirken. Wir haben es also prinzipiell mit der gleichen Spantwirkung zu tun, jedoch mit dem Unterschied, daß der räumliche Spant elastischer, federnder, d. h. arbeitsfähiger ist als der ebene Spant. Weit wichtiger aber ist der Umstand, daß beim räumlichen Spant weit mehr Material für die Spantwirkung aktiviert wird als beim ebenen Spant, da ja alle Säulen, Spriegel und Querträger mehr oder weniger an der Spantwirkung teilnehmen. Es läßt sich somit bei der Anwendung des räumlichen Spants mit der gleichen Materialmenge eine bessere Spantwirkung oder die gleiche Spantwirkung wie beim ebenen Spant mit einer geringeren Materialmenge verwirklichen.

Damit schließe ich meine Ausführungen in der Hoffnung, ein nach dem heutigen Stande der Technik zutreffendes Bild des Leichtbaues gegeben zu haben.

Der Leichtbau beim Eisenbahnfahrzeugbau

Von Reichsbahnoberrat Otto Taschinger, München

Im Eisenbahnwagenbau war, solange noch Untergestell und Wagenkasten aus zusammengelieferten Trägern gebildet wurden, an Leichtbau nicht zu denken. Erst mit der Einführung der modernen Schweißtechnik, die durch den Eisenbahnwagenbau gar manche Anregung und wohl auch die höchste Vervollkommnung erfuhr und mit der Verwendung von Leichtmetalllegierungen, die den Beanspruchungen des rauhen Eisenbahnbetriebes gerecht werden, war die Voraussetzung für den Leichtbau gegeben.

Wenn man sich mit der Frage befaßt, ob es notwendig oder zweckmäßig ist, die Fahrzeuggewichte so niedrig wie möglich zu halten, so gibt ein einfaches Rechenbeispiel wohl die beste Erkenntnis.

Um einen Begriff von der Kraftersparnis durch Leichtbau zu bekommen, werden für eine Vorort- und eine Fernstrecke der Arbeitsbedarf durchgerechnet, wobei angenommen ist, daß man durch Anwendung der Leichtbaugrundsätze nur 20% vom Eigengewicht des in Schwerbauweise hergestellten Zuges sparen kann. In Wirklichkeit ist die mögliche Gewichtsverminderung wesentlich größer.

1. Beispiel:

Angenommen wird eine Vorortstrecke mit 6 Halten, die voneinander eine Entfernung von 2 km haben sollen. Die Höchstgeschwindigkeit soll 75 km/h, der Beschleunigungsweg 500 m und der Bremsweg 400 m betragen. Die Strecke wird ohne Kurve und Steigung angenommen. Der Zug bestehe aus gekuppelten zweiseitigen Triebwagen von 200 t Gesamtgewicht, das durch Anwendung der Leichtbautechnik auf 160 t gebracht werden soll.

a) Für den 200-t-Schwerbauzug ist die zu leistende Gesamtarbeit als Summe von Widerstands- und Beschleunigungsleistung:

$$L = L_b + L_w = 6190 + 26\,600 = 32\,790 \text{ mt}$$

Der größte Leistungsanteil wird für die Beschleunigung des Wagenzuges benötigt.

b) Für den 160-t-Leichtbauzug errechnet sich die Gesamtarbeit zu:

$$L = 5230 + 21\,250 = 26\,480 \text{ mt.}$$

Beim 160-t-Leichtbauzug ist demnach im Verhältnis zum Schwerbauwagenzug eine Leistung von $\frac{26\,480}{32\,790} = 81\%$ erforderlich, d. h. die Leistungersparnis ist also praktisch proportional der Gewichtersparnis.

Die durch die Gewichtsverminderung erzielbare Leistungersparnis beim Bremsvorgang ist aus folgendem Rechnungsbeispiel zu ersehen:

Die erforderliche Bremsarbeit ist:

$$L = L_v - L_w = 26\,600 - 1410 = 25\,190 \text{ mt.}$$

Für den 160-t-Leichtbauzug wird:

$$L_v = 21\,250 \text{ mt,}$$

$$L_w = 1\,170 \text{ mt,}$$

$$L = 20\,080 \text{ mt.}$$

Die Bremsleistung beim 160-t-Leichtbauzug beträgt im Verhältnis zum Schwerbauzug $\frac{20\,080}{25\,190} = 80\%$. Sie

nimmt also gleichfalls im Verhältnis zum Gewicht ab. Für den Leichtbauzug ist nicht nur eine schwächere Bremsausrüstung erforderlich, sondern es wird auch der Verschleiß an Bremsklötzen im Verhältnis der kleineren Bremsleistung geringer.

2. Beispiel:

Es wird eine Fernstrecke mit 200 km Streckenlänge gewählt. Auch hier wird die Strecke ohne Kurven und Steigungen der Einfachheit halber angenommen. Die Höchstgeschwindigkeit des Schnelltriebwagenzuges soll 160 km/h, der Beschleunigungsweg jeweils 3500 m und die Bremsstrecke jeweils 1500 m betragen. Die Strecke wird ohne Halte durchfahren angenommen. Der Zug bestehe aus einem zweiseitigen Schnelltriebwagen mit einem Gewicht von 100 t, der durch Anwendung der Leichtbautechnik auf 80 t gebracht werden soll.

Es ergibt sich sodann in derselben Weise wie beim ersten Rechnungsbeispiel:

Für den 100-t-Schwerbauzug wird die Gesamtarbeit:

$$L = L_w + L_b = 198\,200 + 10\,100 = 208\,300 \text{ mt.}$$

Die Beschleunigungsarbeit tritt hier hinter der Widerstandsarbeit im Beharrungszustand stark zurück zum Unterschied gegenüber der mit von 75 km/h Höchstgeschwindigkeit befahrenen Vorortstrecke.

Für den 80-t-Leichtbauzug wird die Gesamtarbeit:

$$L = 186\,000 + 8\,050 = 194\,050 \text{ mt.}$$

Die beim 80-t-Leichtbauzug eingetretene Ersparnis an Leistung ist trotz der hohen Fahrgeschwindigkeit und obwohl die Strecke ohne Halt durchfahren wird, gleich $\frac{194\,050}{208\,300}$ oder nur 93,0% des 100-t-Zuges, also immer noch sehr beachtlich.

Für den Bremsvorgang ist für den 100-t-Triebwagenzug die erforderliche Bremsarbeit:

$$L + L_v - L_w = 10\,100 - 940 = 9\,160 \text{ mt.}$$

Für den 80-t-Leichtbauzug ergeben sich in analoger Weise folgende Werte:

$$L_b = 8\,050 \text{ mt,}$$

$$L_w = 860 \text{ mt,}$$

$$L = 7\,190 \text{ mt.}$$

Das Verhältnis der Bremsleistungen beim 80-t- und 100-t-Zug ist $\frac{7190}{9160} = 78\% = 80\%$, d. h. die

Leistungersparnis ist auch bei schnellfahrenden Zügen proportional der Gewichtersparnis. Der Wert 78% scheint sogar auf eine größere Leistungersparnis (22%) hinzuweisen, als der Gewichtsverminderung (20%) entspricht. Da die verwendeten Formeln jedoch keinen Anspruch auf absolute Genauigkeit machen können, können diese 2% außer acht bleiben.

Daher ergibt sich bei Vorort- und Stadtbahnzügen, wo die Beschleunigungsarbeit überwiegt, daß die erforderliche Fahrleistung mit dem Gewicht in gleichem Maße sinkt. Bei Fernzügen wird ein beträchtlicher Teil der Leistung zur Ueberwindung des Luftwiderstandes gebraucht, der unabhängig vom Gewicht ist. Infolgedessen ist hier der Leistungsgewinn geringer als die Gewichtsverminderung. Am deutlichsten erkennt man dies aus dem beigefügten Schaubild (Abb. 1), in dem für den 80-t- und 100-t-Fernzug die Fahr- und Bremsleistung sowie ihr prozentuales Verhältnis für die Geschwindigkeiten 80, 120 und 160 km eingetragen sind. Bei geringer Geschwindigkeit beträgt infolge Wegfalls des Luftwiderstandes das Verhältnis der Fahrleistungen 80%, steigt bei 80 km/h schon auf 88,4% und erreicht bei 160 km/h 93,0%, so daß hier nur

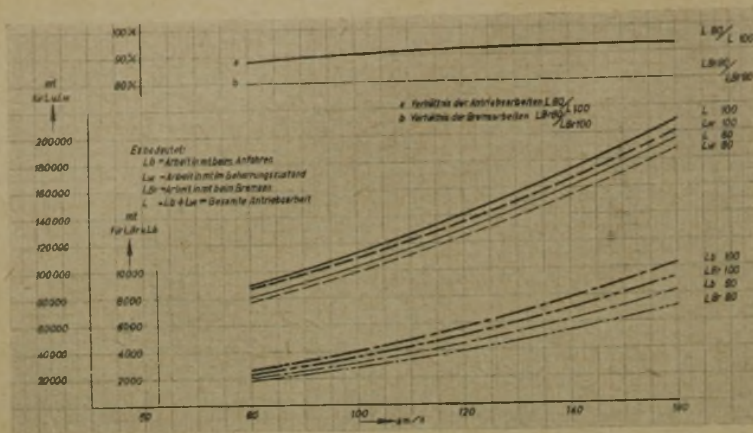


Abb. 1: Leistungsanteil eines 100-t- bzw. 80-t-Zuges

noch 7,0% an Leistung bei einer Gewichtsverminderung von 20% gewonnen werden.

Beim Bremsen ist das Verhältnis der Bremsleistungen durchwegs 80%. Die Gewichtsverminderung wirkt sich also voll in Leistungsverminderung aus. Das Ergebnis dieser Berechnungsskizze läßt sich kurz in den zwei Forderungen ausdrücken:

Mit Rücksicht auf den Kraftverbrauch: Möglichst leichte Vorort- und Stadtbahnzüge. — Mit Rücksicht auf die Ersparnis an Bremsenergie und damit Bremsklotzverschleiß: Möglichst leichte Nah- und Fernzüge. Der Verbrauch an Bremsklötzen bei der Reichsbahn betrug im Jahre 1937 etwa 70 000 t mit einem Einkaufswert von 9 000 000 RM., davon 30 000 t im Werte von 3 800 000 RM. für Wagen. Mindestens 50% dieses Verbrauches, also insgesamt etwa 15 000 t Eisen, wurde daher in einem Jahr als Eisenstaub auf allen befahrenen Strecken verstreut und ist daher unwiderrbringlich verloren. Man sieht hieraus, welche ungeheure Bedeutung dem Leichtbau von Eisenbahnfahrzeugen mit Rücksicht auf die Erhaltung der Rohstoffe zukommt.

Dieser überragende Einfluß des Fahrzeuggewichtes ist um so bedeutender, je öfter ein Zug während einer Fahrt anzufahren hat. Im Verlaufe einer Zugfahrt wird ein Zug mehr oder minder oft Streckenabschnitte vorfinden, in denen Gleisverbesserungs- oder -erneuerungsarbeiten vorgenommen werden, also Streckenabschnitte, die mit ermäßigter Fahrgeschwindigkeit zu befahren sind. Auch findet ein FD auf seiner Fahrt eine nicht unbeachtliche Zahl von Gleisbögen vor, die eine Geschwindigkeitsermäßigung erfordern. Aus diesen Bereichen wird ein Fahrzeug mit geringem Eigengewicht rascher seine Höchstgeschwindigkeit wieder erreichen als ein schweres Fahrzeug. In Steigungen ist der Fahrwiderstand bekanntlich proportional der Steigung.

Betrachtet man auf der Landkarte Europas die Bodenverhältnisse, so sieht man den ausgedehnten Bereich von Bodenerhebungen. Ein Eisenbahnzug hat daher im internationalen Eisenbahnverkehr fast immer größere Streckenabschnitte mit Steigungen zu befahren. Schon aus diesem Grunde ist es daher unbedingt erforderlich, das Fahrzeuggewicht so gering wie möglich zu halten.

Bei höheren Fahrgeschwindigkeiten tritt, wie bereits festgestellt, der Einfluß des Fahrzeuggewichtes gegenüber dem Luftwiderstand des Fahrzeuges zurück. Es wäre aber nicht richtig, bei schnell fahrenden Fahrzeugen nur auf die windschnittige Ausbildung des Wagenkastens bedacht zu sein und die Größe des Eigengewichtes zu vernachlässigen mit der Begrün-

dung, daß z. B. ein FD-Zug während seiner ganzen Fahrt nur wenige Male anzufahren hat und daher die durch Gewichtsverminderung erzielbare Fahrzeutersparnis nur unbeträchtlich sei. Auch bei FD-Zügen hat der Einfluß der Langsamfahrstellen und Streckenabschnitte, die in Steigungen liegen, einen Einfluß auf die Dauer der Reisezeit. Nun ist aber, wie wir später erkennen werden, eine der Voraussetzungen für den Leichtbau der Leichtformbau. Bei diesem paßt sich die Form jedes Bauteiles an den Kräfteverlauf an; die Bauform ist aber auch abhängig von der äußeren Form des Wagenkastens. Beim Leichtformbau schmiegen sich die Bauteile an die äußere Kastenform ohne Ecken an. Mit geschweißten Blechträgerkonstruktionen wird aber in geradezu

idealer Weise bei geringstem Gewicht diese Leichtform erreicht. Mit dem Mittel des Leichtbaues kann daher die Forderung nach leichtem Gewicht und windschnittiger Formgebung in Einklang gebracht werden.

Die Gesamtreisezeiten werden sich daher mit Leichtbaufahrzeugen erheblich vermindern lassen. Andererseits besteht mit solchen Wagen die Möglichkeit, bei Verkehrsspitzen einem Zuge mehr Wagen als bisher beizugeben. Endlich kann man, wenn man das Platzangebot eines Zuges nicht vermehren will, mit geringeren Zugkräften auskommen; vorhandene Lokomotiven werden geschont. Es wird sich ein Minderverschleiß an Bremsklötzen, Radreifen und Schienen einstellen. Alle diese Umstände zeigen auf das deutlichste die Notwendigkeit des Leichtbaues im Eisenbahnwagenbau.

Die Leichtbauweise hilft vor allem Baustoffe zu sparen. Rohstoffarme Länder oder solche, denen diese vollkommen fehlen, werden daher das größte Interesse am Leichtbau haben müssen. Daß aber neben diesen volkswirtschaftlichen Gründen der sparsamen Bewirtschaftung der Rohstoffe auch noch andere, technische und wirtschaftliche Gründe sprechen, beweist am stärksten die rührige Tätigkeit von Ländern, die in keiner Weise unter Rohstoffmangel zu leiden haben, wie z. B. Amerika. Diese günstige Rohstofflage gestattet Amerika noch eine weitere Ausnutzung des Leichtbaues durch die Anwendung hochlegierter Stähle für dünnwandige Bleche. Wie wir später sehen werden, kann aber auch mit den in Deutschland zur Verfügung stehenden unlegierten Baustählen ein vollwertiger Leichtbau durchgeführt werden.

Nachteilig für den Leichtbau ist zur Zeit noch der höhere Lohnaufwand für die in Leichtbauweise hergestellten Eisenbahnfahrzeuge. Man hat jedoch zu berücksichtigen, daß Leichtbaufahrzeuge unter vollkommener Abkehr der Arbeitsmethoden der bisherigen Schwerbauwagen hergestellt werden müssen. Die Leichtbauwagen erfordern bei ihrem Bau neue Vorrichtungen; vielfach mit Rücksicht auf die geringe Zahl der neuen Wagen Profile, die von den Wagenbauanstalten selbst durch Kanten oder gar aus Blechen durch Schweißung hergestellt werden müssen. Da der Leichtbau vor allem eine sorgfältige Arbeit erfordert, werden vorläufig nur die besten Arbeitskräfte eingesetzt werden können. Werden aber Leichtfahrzeuge allgemein als Regelbauart hergestellt, so wird es der Industrie bald gelingen, die Kosten für den Arbeitsaufwand zu verringern. Außer den wohl unvermeidlichen höheren Aufwendungen für Leichtmetall für die nichttragenden Bauteile, wird die Leichtstahlkonstruktion von Eisenbahnwagen im Endzustand nicht teurer sein als die der Schwerfahrzeuge; es wird

sich lediglich das Verhältnis der Löhne zu den Baustoffen, und zwar zugunsten des Lohnaufwandes, verschieben. Mit der zur Verfügung stehenden Materialmenge kann aber eine größere Anzahl von Fahrzeugen gebaut werden. Vor allem aber wird der Bedarf an Leichtbaufahrzeugen um so mehr wachsen, je mehr der Vorteil der Leichtwagen im praktischen Betriebe in Erscheinung treten wird.

Grenzen des Leichtbaues

Da bei den Dieseltriebwagen wegen der zu Beginn der Entwicklung zur Verfügung stehenden geringen Maschinenleistung sich am stärksten das Bedürfnis geltend machte, das Gewicht der Trieb-, Steuer- und Beiwagen abzumindern, kann der Triebwagenbau letzten Endes auch als der Lehrmeister des Leichtbaues von Eisenbahnfahrzeugen angesehen werden. Im Anfange der Entwicklung versuchte man das auf einen Sitzplatz fallende Gewicht durch geringe Annahme der Zug- und Stoßkräfte zu verringern, weil man den Trieb-, Steuer- und Beiwagen die Beschränkung auferlegte, daß ein Triebwagenzug höchstens aus drei Wagen bestehen darf. Ferner wurde eine möglichst große Anzahl von Sitzplätzen in einem Wagen untergebracht durch Verringerung der Abteillängen und durch engere Einstiege. Endlich wurde das Fahrzeugtotgewicht dadurch abgemindert, daß man an Stelle von Einzelabteilen Großräume mit Längsgepäcknetzen anordnete. Mit solchen Großräumen werden allerdings die Abteilmitteln- und die Seitengangwände mit den Abteilschiebetüren erspart. Die Fahrgastgroßräume haben aber bei den Fahrgästen in Deutschland im Gegensatz zum Ausland, besonders Amerika, bei den Fernzügen keinen Anklang finden können, weil das reisende Publikum bei Fernfahrten zeitweise in den Seitengängen sich aufhalten will. Bei schwach besetzten Zügen kann ein Fahrgast allein im Abteil sitzen. Die an den Wagenlängswänden angeordneten Gepäcknetze haben in der Praxis viel zu geringe Ablegeflächen; das Auf- und Abnehmen der Gepäckstücke hat vielfach eine Belästigung der Fahrgäste zur Folge. Aus all diesen Gründen wurden daher in Deutschland die neuesten Schnelltriebwagenzüge in ähnlicher Weise wie die D-Zug-Wagen wieder mit Einzelabteilen und Quergepäcknetzen versehen. Hieraus ergibt sich eine wichtige Grenze des Leichtbaues: Der Leichtbau von Fahrzeugen darf auf keinen Fall auf Kosten der Bequemlichkeit der Fahrgäste vorgenommen werden.

Triebwagenanhänger, die nur geeignet sind, im Verband mit einem oder höchstens zwei weiteren Wagen zu laufen, haben im Eisenbahnbetrieb zu manchen Schwierigkeiten geführt, weil solche Fahrzeuge nur an einzelne Triebwagenzüge gebunden und daher für den Betrieb nicht freizügig verwendbar sind. Es macht sich immer mehr das Bedürfnis geltend, auch leichte Triebwagenanhänger in Züge des allgemeinen Verkehrs einzustellen oder Triebwagenzüge aus einer größeren Anzahl von Wagen (etwa bis zu zwölf Wagen) bilden zu können. Der Leichtpersonenwagen muß daher der Forderung genügen, die gleiche Widerstandsfähigkeit zu besitzen wie die Wagen aller übrigen Personenzugabteilungen.

Wenn der ideale Leichtbau heute noch nicht Allgemeingut aller Konstrukteure ist, so liegt dies wohl in der Hauptsache an der weitverbreiteten Vorstellung, daß bei Anwendung des Leichtbaues Nachteile hauptsächlich in bezug auf die Widerstandsfähigkeit solcher Fahrzeuge bei Zusammenstößen eintreten würden.

Oberstes Gebot im Eisenbahnfahrzeugbau ist die Sicherheit der Reisenden gegen Unfälle. Die

Verkehrssicherheit eines Fahrzeuges ist jedoch um so größer, je größer seine ausnutzbare Arbeitsaufnahme- und Arbeitsvernichtungsfähigkeit im Verhältnis zum Gewicht eines Wagens ist. Dabei muß ein Eisenbahnwagen so fest gebaut sein, daß bei Unfällen der Wagenkasten zwischen den beiden Endvorräumen im wesentlichen erhalten bleibt. Ein stählerner Wagen in Scherbauart ist wohl zu außerordentlich hoher Arbeitsleistung befähigt. Diese Arbeitsfähigkeit nützt aber wenig, wenn sie infolge Starrheit nur einzelner Konstruktionsglieder nicht vollkommen zur Entfaltung kommen kann. Im elastischen Bereich kann bei ausreichender Knicksteifigkeit das Arbeitsvermögen einer auf Druck beanspruchten Konstruktion berechnet werden nach der Formel:

$$A = \frac{f \cdot \sigma^2 \cdot l}{2 \cdot E}$$

wobei f = tragender Querschnitt,

σ = die größte mittlere Spannung in diesem Querschnitt,

l = Länge der Konstruktion,

E = Elastizitätsmodul des Baustoffes ist.

Diese Formel zeigt am deutlichsten den überragenden Einfluß der im Werkstoff auftretenden Spannung auf das elastische Arbeitsvermögen einer Konstruktion, sie zeigt aber auch die Bedeutung gleichmäßiger Spannungen in allen Konstruktionsgliedern. Jeder Wagenkasten stellt eine mehr oder weniger elastische Feder dar, deren Federungsvermögen ein Maß ist für die auftretende größte Verzögerung für den Fall, daß dem bewegten Fahrzeug ein Widerstand entgegentritt. Wie bereits dargelegt, ist die Federung eines gleichmäßig beanspruchten Leichtwagens größer als die eines Schwerwagens mit starren Konstruktionsgliedern. Die Grenze für den Leichtbau ist immer die Sicherheit der Fahrgäste.

Im Interesse des Leichtbaues wäre es gelegen, die Außenfenster fest, also nicht herabblafbar, anzuordnen, da hierdurch die Fensterausschnitte durch kräftige Umbördelung des Seitenwandbleches ohne merklichen Gewichtsaufwand sehr steif gehalten werden können. Auch wird bei der Wahl fester Fenster mit geringem Gewichtsufwand eine ausreichende Aussteifung der unter der Fensterbrüstung liegenden Seitenwand erzielt. Feste Fenster haben zudem den Vorteil, daß sie vollkommen dicht eingebaut werden können, so daß Zuglufterscheinungen für die Fahrgäste ausgeschlossen sind. Will man aber feste Fenster zulassen, dann muß durch eine künstliche Belüftungsanlage dafür gesorgt werden, daß dem Reisenden der Aufenthalt im Abteil auch bei hoher Außentemperatur angenehm ist. Für solche Druckbelüftungsanlagen muß jedoch mit einem mindestens 30- bis 40fachen Luftwechsel in der Stunde gerechnet werden, dabei darf die in die Abteile einströmende, von außen angesaugte Luft weder durch ihre Geschwindigkeit noch durch ihre Temperatur dem Reisenden unangenehm bemerkbar sein. Es erscheint aber auch bei Anwendung von künstlichen Belüftungsanlagen fraglich, ob den Fahrgästen feste Fenster zugemutet werden können, da das Publikum vor Zugabfahrt und unterwegs während der Bahnhofsaufenthalte aus allen möglichen Gründen die Abteilstenfenster öffnen will. Der Leichtbaukonstrukteur muß daher damit rechnen, daß herabblafbare Fenster aus Gründen der Bequemlichkeit der Fahrgäste vorläufig nicht entbehrt werden können.

Weiterhin dürfen mit der Leichtbauweise nur Bauformen geschaffen werden, die das Aussehen der sichtbaren Konstruktionselemente nicht ungünstig beeinflussen. Ein wichtiges Mittel der Leichtbautechnik ist das Wellblech und die Vermeidung von Ecken und Kanten. Hierdurch ergibt sich für den Wagenkasten

eine Seitenwand und ein Dach mit Sicken und Fenstern mit abgerundeten Ecken, die aber in keiner Weise das Gesamtbild ungünstig beeinflussen.

Endlich darf durch den Leichtbau nicht die Lebensdauer eines Fahrzeuges verkürzt werden. Da das geringe Gewicht erzielt wird durch die Verwendung dünnwandiger Bleche, so muß bei dieser Konstruktion die Korrosion der Bleche vermieden werden. An Ausbesserungswagen kann festgestellt werden, daß die inneren Flächen des Seitenwandbleches im Fenster-schacht, die eindringendem Regenwasser stark ausgesetzt sind, im allgemeinen frei von Rost sind, soweit der Rostschutanzstrich nicht durch beim Bau der Wagen entstehenden Kratzer beschädigt wurde. Dagegen zeigen sich an allen Ueberlappungen von Eisenteilen und bei Stoßstellen, in Ecken und an den Anschlußstellen von Holzteilen an Eisenteile starke Rostnester. Spannungskorrosion wurde nicht festgestellt. Auch an der Nietung der überlappten Dachblechteile kann man oft schon nach drei- bis vier-jähriger Betriebszeit schon starke Anrostungen feststellen. Man hat daher zur Vermeidung der Korrosion alle Ueberlappungen von Bauteilen grundsätzlich zu vermeiden und durch konstruktive Maßnahmen dafür zu sorgen, daß Wasser sich an keiner Stelle der Konstruktion festsetzen kann. Im übrigen sind sorgfältige Rostschutanzstriche vorzusehen.

Selbstverständlich müssen Eisenbahnleichtfahrzeuge einwandfreie Laufeigenschaften besitzen, die auch bei längeren Laufleistungen sich nicht merklich verändern dürfen. Zur Erreichung dieses Zieles ist es notwendig, die Wagenkästen so steif auszubilden, daß sie weder lotrecht noch quer zur Gleisachse durchzittern können. Die Rahmen der Drehgestelle müssen so konstruiert sein, daß sie unter dem Einfluß der senkrechten Last und den von Gleisstößen her-rührenden Seitenkräften sich nicht verformen, d. h. daß die Achshalter weder spreizen noch sich aufweiten können; die Achsspiele also über die ganze Laufleistung unverändert erhalten bleiben. Die Abfederung der Drehgestelle ist dem leichten Wagengewicht anzupassen. Bei leichtem Wagenkastengewicht ist der Einfluß der veränderlichen Personenlast besonders groß. Will man eine harte Abfederung vermeiden, so ist es zweckmäßig, die Federn abstufbar anzuordnen. Durchgeführte Versuche der Deutschen Reichsbahn haben gezeigt, daß es auch mit besonders leichten Fahrzeugen möglich ist, Laufeigenschaften zu erzielen, die den Laufeigenschaften der in Schwerbauweise hergestellten Fahrzeuge keineswegs nachstehen.

Gegen Leichtbaufahrzeuge wird eingewendet, daß bei ihrer Einführung die bisher in den Ausbesserungsstellen verwendeten Austauschbauteile nicht mehr verwendet werden können. Auch bei den Leichtbaufahrzeugen sollen genormte Austauschbauteile in möglichst großer Zahl verwendet werden; es ist jedoch zu berücksichtigen, daß wegen der betrieblichen Vorteile der Leichtbauweise eine gewisse Umstellung notwendig ist. Auch für die Austauschbauteile der Leichtbaufahrzeuge muß oberster Grundsatz sein, daß durch sie keine unerwünschten Gewichtserhöhungen in die Fahrzeuge kommen.

Auch die bisher gewohnten Arbeitsverfahren der Ausbesserungswerke können im einzelnen durch die Leichtbauweise beeinflusst werden. Für Leichtbauwagen sind bei ihrer Ausbesserung sorgfältig ausgebildete Schweißer erforderlich. Da für leichtgebaute Fahrzeuge zum Teil an Stelle der Formstähle Bleche verwendet werden, bleibt die Vorhaltung der zahlreichen Profilträger in den Lagerstellen vermieden, die Ausbesserung wird dadurch oft einfacher und weniger zeitraubend.

Die Hilfsmittel des Leichtbaues

Will man leicht bauen, so muß man vor allem das Gewicht der nichttragenden Bauteile so gering als möglich halten. Zu den nichttragenden Bauteilen eines Wagens gehören die Inneneinrichtung, Heizung, Beleuchtung, Lüftung und die Bremsanlage. Die Gewichtsverminderung wird erzielt vor allem durch die Verwendung von Baustoffen mit geringem spezifischem Gewicht. So sind in den letzten Jahren alle Rotguß-, Gußeisen- und Tempergußteile für Beschläge, Handgriffe, Schilder, Gepäcknetzträger durch Leichtmetalle ersetzt worden. Auch für Schlösser lassen sich Leichtmetalle, wenigstens für einzelne nicht besonders beanspruchte Teile, verwenden. Auch für alle Konsolen eignen sich Leichtmetallbleche. Eine besondere Gewichtersparnis bringen die Leichtmetallaußentüren, die bis vor kurzem noch fast ausschließlich aus Eisen hergestellt wurden. Diese Leichtmetalltüren haben sich als Schiebetüren bei der Berliner Stadtbahn unter den schwersten betrieblichen Beanspruchungen vollkommen bewährt. Auch Kunstharzstoffe finden für Schilder, Handgriffe mehr und mehr Eingang in den Eisenbahnfahrzeugbau. Diese Stoffe haben neben ihrem geringen spezifischen Gewicht noch den Vorteil, daß sie leichter zu reinigen sind als blanke Metallteile. Man kann ferner Leichtmetall verwenden für Rohrschellen, für Schutzrohre für die Notbremszugleitungen und Lichtleitungen. Die bisher aus gelochtem Stahlblech bestehenden Heizkörperverkleidungen können ebenfalls durch zwei Millimeter starke Leichtmetallbleche ersetzt werden. Letztere haben sogar noch den Vorteil, daß der sonst notwendige Farbanstrich sich erübrigt. Bei der Bremsanlage kann eine Gewichtsverminderung erzielt werden durch Verwendung leichter Bremszylinder und durch eine auf eine geringste Rohrleitungslänge bedachte Apparateverteilung. Magnesium wurde bisher versuchsweise verwendet für Achslagerdeckel, Drehtürarmstützen, Federbruchstützen, Getriebegehäuse, Ölkühler u. ä.

Wesentlich für den Erfolg ist aber, daß der Konstrukteur die vielen Einzelteile eines Eisenbahnwagens sorgfältig auf die Möglichkeit der Gewichtsverminderung nachprüft. Hier gilt es vor allem, das Verständnis zu wecken, daß es bei jedem Einzelteil, so sonderbar es auch sein mag, auf jedes Gramm Gewicht ankommt. Es bedarf einer Umschulung unseres Denkens. Es würde sich empfehlen, manchen Wagenkonstrukteur in die Schule des Flugzeugbaues, den besten Lehrmeister der Leichtbautechnik, zu schicken.

Um einen wirklichen Leichtbau zu sichern, hat der Konstrukteur zu prüfen, ob Bauteile, die bisher sich an der Kräfteaufnahme nicht beteiligten, in die Tragkonstruktion eingezogen werden können. So wurden z. B. früher die oberhalb der Seitenfenster angeordneten Regenrinnen lediglich längs des Seitenwandbleches angeordnet. Es kann die Regenrinne mit dem oberen Langrahmen vereinigt werden, so daß auch die Regenrinne einen, wenn auch nur geringen Teil der Kräfte aufnehmen kann.

Der Leichtbaukonstrukteur hat die Aufgabe, das Untergestell so auszubilden, daß die schon vorhandenen Längs- und Querträger möglichst auch zum Tragen der Heizungs-, Beleuchtungs- und Bremsapparate herangezogen werden, damit für diese Apparate möglichst viele Sonderträger entfallen können. Ferner sind Apparate in einen gemeinsamen Kasten aus Leichtmetall unterzubringen. Der bisher schwere Batteriekasten für die Beleuchtung der Wagen kann selbsttragend ausgebildet werden, so daß besondere seitliche Abstützungen entbehrlich werden. Dabei erhalten die Blechwände der Batteriekästen zur Aussteifung besondere Sicken.

Für den tragenden Teil des Wagens, also für den Wagenkasten, sind folgende Grundsätze für den Leichtbau zu beachten.

Konstruktionsgrundsätze

Für die genieteten Untergestelle, Wagenkästen und Drehgestelle wurden in Anlehnung an die übliche Bauweise von Brücken, Kranen und Stahlhochbauten allgemein Formstähle verwendet, die durch Nietung unter Verwendung von Knotenblechen miteinander zu Fachwerkträgern vereinigt werden. Die einzelnen Träger wurden nach den Grundsätzen der Statik berechnet. Da diese Berechnungsmethode fast ausnahmslos einen Querschnitt ergab, der nicht genau der Querschnittsgröße eines handelsüblichen Profiles entsprach, war der Konstrukteur darauf angewiesen, ein der Berechnung möglichst nahe kommendes Profil auszuwählen. In der Regel hatte dann dieses Formeisen einen etwas größeren Querschnitt, als es die Berechnung erforderte.

Durch Verwendung genormter Formstähle, deren Zahl aus Gründen der wirtschaftlichen Herstellung und zur Erzielung einer günstigen Lagerhaltung bei den Eisenbahnausbesserungswerken möglichst beschränkt bleiben mußte, ergab sich für den Bau von Eisenbahnwagen aber neben dem Nachteil großer Gewichte noch die Tatsache, daß nicht jedes Bauteil gleichmäßig beansprucht wurde. Gewichtsvermehrend wirkte sich neben der oben dargelegten Festigkeitsbetrachtung der einzelnen Trägerelemente ferner noch aus, daß aus Gründen der gewohnten Herstellermethoden Untergestell, Seitenwände und Dach konstruktiv jedes für sich betrachtet wurden, wodurch der Vorteil der Röhrenform des ganzen Wagenkastens vernachlässigt wurde.

Gänzlich unberücksichtigt mußte bei der genieteten Profilträgerbauweise bleiben, daß die Eisenbahnfahrzeuge im Betriebe dauernd dynamisch beansprucht werden, weil die Nietkonstruktion keine Möglichkeit bietet, die dynamischen Beanspruchungen in so vollkommener Weise wie bei der geschweißten Konstruktion aufzunehmen. Wenn bei den genieteten Eisenbahnfahrzeugen in den Wagenkästen und Drehgestellen infolge der dynamischen Dauerbeanspruchungen keine Anrisse in den einzelnen Verbindungen aufgetreten sind, so beweist diese Tatsache nur, daß durch eine übermäßige Baustoffanhäufung, also durch die Schwerbauweise die Gefahr gebannt wurde.

Mit der Einführung der Schweißtechnik in den Eisenbahnfahrzeugbau hatten sich diese Verhältnisse nicht wesentlich verändert. Wohl wurden durch die Schweißung steifere Verbindungen und eine mäßige Gewichtsverminderung erzielt, die im wesentlichen durch den Fortfall der Nietköpfe und an einzelnen Stellen durch den Fortfall von Knotenblechen ihre Ursache hatte. Man übernahm aber bei den Schweißkonstruktionen die Profilträger und hielt an den Ueberlappungen der Verbindungsstellen fest, die man aus Sicherheitsgründen für notwendig hielt. Die durch die Schweißung erzielte Steifigkeit der Verbindungen brachte aber den Nachteil, daß unter dem Einfluß der dynamischen Beanspruchungen an einzelnen Eckverbindungen Anrisse auftraten, die auch durch die Verstärkung der Querschnitte nicht beseitigt werden konnten. Die im Betrieb auftretenden Anrisse haben aber bald zur Erkenntnis geführt, daß geschweißte Verbindungen so konstruktiv gestaltet werden müssen, daß an allen Stellen der Bauteile der Kraftfluß allmählich umgeleitet wird. Da inzwischen durchgeführte praktische Versuche gezeigt haben, daß geschweißte Stumpfstoße eine zuverlässige Verbindung von Bauteilen darstellen, konnten auch die bisher üblichen überlappten Verbindungen, die eine Umlenkung des

Kraftflusses notwendig machten, aufgegeben werden. An Stelle der Formstähle wurden durch Schweißung hergestellte Blechträger gebildet, bei denen sowohl der Steg als auch die Gurtbleche jede gewünschte Form erhalten konnten. Die Blechstärken und -höhen können entsprechend dem Verlauf der Beanspruchungen beliebig geändert werden; an den Eckverbindungen ergibt sich die Möglichkeit der Anordnung von Ausrundungen. Auf diese Weise war es nun möglich, an jeder Stelle nur noch so viel Baustoffe vorzusehen, als zur Erzielung einer gleichmäßigen in bestimmter Grenze zugelassenen Beanspruchung notwendig war. In Verbindung mit einer Ecken vermeidenden Formgebung der Bauteile war die Voraussetzung geschaffen, daß der Kräfteverlauf der Gesamtkonstruktion in vollkommener Weise entsprach.

Geschlossene Wagenkästen haben alle Personenzüge und die gedeckten Güterwagen. Der geschlossene Wagenkasten hat die Form einer rechteckigen Röhre, bei der allerdings nur das Dach bogenförmig ausgebildet ist, während, von seltenen Ausnahmen abgesehen, die Seitenwände und der Fußboden eben sind. Der Wagenkasten wird bekanntlich in lotrechter Richtung durch die Eigen- und Nutzlast, seitlich durch die Stöße, Wind- und Fliehkräfte und in der Richtung der Wagenlängsachsen durch Zug- und Stoßkräfte beansprucht. Der Wagenkasten ist daher auf Durchbiegung, Quersteifigkeit und Knickung zu berechnen. Endlich muß er die durch die Gleisunebenheiten bedingten Verwindungskräfte aufzunehmen in der Lage sein.

Betrachten wir zunächst die Beanspruchung durch die lotrecht wirkende Last. Der geschlossene Wagenkasten ist eine durch eine Röhre gebildete Brücke, die sich auf die Drehzapfen abstützt. Untergestell- und Dachlangrahmen bilden mit den ihnen verschweißten Seitenwandsäulen ein Fachwerk. Auch das an dieses Fachwerk angeschweißte Seitenwandblech kann einen Teil der Last aufnehmen, also als Tragorgan dienen. Das Seitenwandblech hat aber vor allem die Aufgabe, das Fachwerk diagonalsteif zu machen. Um diese Aufgabe übernehmen zu können, darf, wenn man Zugdiagonalfelder vermeiden will, das Seitenwandblech nicht ausbeulen können; es muß schersfest sein. Will man diese Schersfestigkeit nicht durch große Blechstärken, also unter großem Gewichtsaufwand erreichen, so bleiben nur zwei Möglichkeiten offen, entweder dadurch, daß man auf das Seitenwandblech Rippen aufsetzt oder in dieses Sicken einpreßt. Innen aufgesetzte Rippen verursachen überflüssiges Gewicht und sind der Gefahr des Anrostens ausgesetzt.

Das Seitenwandblech ist in den Fenster- und Türfeldern ausgeschnitten. Die Fensterecken des dünnen Seitenwandbleches, die in Höhe Unterkante Fenster am stärksten beansprucht sind, sollen stark abgerundet sein, so daß die Spannungen im Bogen umgeleitet werden können. Die senkrechten Kastensäulen und die Dachspriegel müssen mit Rücksicht auf die zu übertragenden großen Kräfte beibehalten werden. Diese Teile werden aus Winkeleisen hergestellt und auf einem Schenkel hochkant stehend mit dem Seitenwand- und Dachblech verschweißt. Die Deckfläche zwischen Steg und Blech ist damit auf ein Minimum gemindert. Zur Vermeidung von Ueberlappungen sind die Seitenwandsäulen auch stumpf auf die Langträger aufzusetzen (Abb. 2).

Bei den früheren Schwerbauwagen war der Wagenkasten auf die Langträger des Untergestells aufgesetzt. Die Untergestell-Langträger mußten daher neben ihrem Eigengewicht noch die ganze Wagenlast tragen. Die Höhe der Langträger war aus konstruktiven Gründen

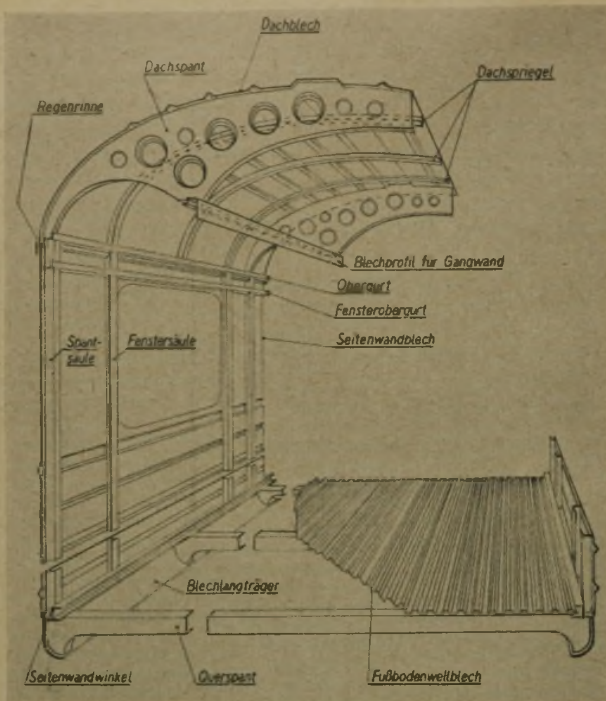


Abb. 2: Schnitt durch einen Wagenkasten

begrenzt, sie betrug im Mittel etwa 300 Millimeter. Das erforderliche Widerstandsmoment war nur durch großen Baustoffaufwand erreichbar, der durch Anwendung eines Sprengwerkes im Untergestell etwas vermindert werden konnte. Wird jedoch die gesamte Seitenwand eines Wagenkastens zum Tragen herangezogen, so ist der Langträger des Untergestells noch der Untergurt eines Fachwerkes, dessen Gesamthöhe die Seitenwand einschließlich des Daches ist, die im Mittel mit 2800 Millimeter angenommen werden kann, also etwa das Neunfache der früheren Langträgerhöhe. Da jedoch das Widerstandsmoment mit dem Quadrat, das Trägheitsmoment mit der dritten Potenz der Höhe wächst, kann bei der tragenden Seitenwand der Baustoffaufwand für die Tragkonstruktion klein gehalten werden. Man wählt am besten Bleche oder Formstähle für Seitenwand, Säulen und oberen Langrahmen aus St 37, da bei den im Betrieb auftretenden Beanspruchungen schon mit diesem Stahl geringe Querschnitte sich ergeben. Die Wahl von Baustoffen höherer Festigkeit, etwa St 52, dessen Elastizitätsmodul nicht höher ist als der von St 37, bringt meist für die Seitenwandkonstruktion keinen Gewichtsvorteil, weil aus Gründen der Rostgefahr und zur Vermeidung des Fallens der Bleche, zu dünne Bleche vermieden werden müssen.

Im übrigen sind der Baustoffwahl Grenzen gesetzt, denn hochfeste Baustähle verlieren an Schweißbarkeit je nach Art ihrer Zusammensetzung. Gute Schweißbarkeit hängt in der Hauptsache vom Kohlenstoffgehalt ab, deshalb besitzen niedergekohlte Stähle, wie St 37, von Haus aus gute Schweißbarkeit.

Mit Rücksicht darauf, daß es bei den Wagenseitenwänden nicht so sehr auf den Zugfestigkeitswert des Baustoffes, sondern auf die Verbeulfestigkeit ankommt, kann für Seitenwandkonstruktionen auch durch die Verwendung von Leichtmetall ein Gewichtsvorteil erzielt werden. So hat z. B. Hydronalium Hy 5 eine Zugfestigkeit von 35 bis 38 kg/mm² und eine Ermüdungsfestigkeit von 12 kg/mm² gegenüber St 37 mit einer Zugfestigkeit von 37 bis 44 kg/mm² und eine Ermüdungsfestigkeit von 18 kg/mm². Der Elastizitätsmodul des St 37 ist aber mit 2 100 000 kg/cm² dreimal so groß wie der des Hydronaliums.

Bei Leichtmetallseitenwandkonstruktionen werden daher bei gleichen Querschnittsabmessungen alle elastischen Verformungen dreimal so groß als bei Stahl. Will man jedoch bei beiden Baustoffen nur die gleiche Verformung zulassen, so muß bei der Leichtmetallkonstruktion das Trägheitsmoment des betreffenden Bauteiles etwa auf das Dreifache vergrößert werden. Diese Maßnahme braucht jedoch bei Leichtmetall keinen Gewichtsnachteil zur Folge zu haben, weil bekanntlich die durch die Querschnittsvergrößerung bedingte Erhöhung des Gewichtes mit der ersten Potenz, das Trägheitsmoment aber mit der dritten Potenz der Bauhöhe anwächst. Das Leichtmetall ist aber wegen seines geringen spezifischen Gewichtes, das nur ein Drittel gegenüber Baustahl beträgt, im Vorteil, da schon durch eine geringe Erhöhung der Blechstärke eine gleichgroße örtliche Formsteifigkeit wie bei Stahl erzielt wird.

An zwei zweiachsigen Versuchswagen der Deutschen Reichsbahn wird Elektron auch für den Wagenkasten und das Untergestell vorgesehen, so daß auch diesem deutschen Heimstoff Gelegenheit gegeben ist, seinen Beitrag zum Leichtbau von Eisenbahnfahrzeugen zu leisten und seine Verwendungsmöglichkeit unter Beweis zu stellen.

Der den Untergurt der Seitenwandkonstruktion bildende Langträger muß, da er ein Bauglied des die Last aufzunehmenden Fachwerkes bildet, in der Ebene der Seitenwand liegen. Den Langträgern fällt die Aufgabe zu, die Zug- und Stoßkräfte aufzunehmen. Da aber, nach den oben aufgestellten Betrachtungen über die Beanspruchungen der Seitenwand durch die Last, die Langträger einen verhältnismäßig kleinen Querschnitt benötigen, muß mit Rücksicht auf seine Beanspruchung durch die Stoßkräfte durch Konstruktionsmaßnahmen dafür gesorgt werden, daß der schwache Langträger nicht ausknicken kann. Es hat sich aber gezeigt, daß ein [förmiger Langträger die günstigste Bauform ist, wobei der lotrechte nach innen gekrümmte Steg in der Ebene der Seitenwand liegt, während der waagerechte Flansch in der Höhe des Wagenfußbodens angenommen ist. Die Seitenwand verhindert das Ausknicken des Langträgers nach oben. Die beiden Enden der Flanschen der Langträger werden durch ein den Fußboden in seiner ganzen Breite und Länge bedeckendes Wellblech miteinander verbunden. Die beiden Flansche in Verbindung mit dem Wellblech sichern gegen das Ausknicken der Langträger in horizontaler Richtung. Der nach innen gewölbte Langträgersteg wird durch eine große Anzahl in gleichen Abständen angeordnete Querträger am Ausknicken gehindert. Für diese mit den Langträgern stumpf verschweißten Untergestellquerträger, die in Abständen einer halben Abteillänge verlegt sind, können in Anbetracht ihrer großen Zahl und ihrer Verbindung mit dem Fußbodenwellblech sehr leichte [Profile gewählt werden.

Durch Versuche konnte nachgewiesen werden, daß durch die Verwendung eines 1,25 Millimeter starken Bodensickenbleches, dessen Wellenanten parallel zur Wagenlängsachse verlaufen, und welches mit den Längs- und Querträgern starr verbunden ist, gemeinsam mit dem obenbeschriebenen Langträger der Wagenkasten in der Lage ist, Pufferstöße von 200 Tonnen ohne bleibende Verformung aufzunehmen. Als günstigste Wellenform für das Blech ist durch Knick- und Beulversuche eine Trapezform ermittelt worden, welche so steif ist, daß sie rechnermäßig auf Knickung und Ausbeulen eine Druckbelastung gestattet, die über der Streckgrenze des St 37 liegt. Bei der gewählten Formgebung des Langträgers trifft sinngemäß das gleiche zu. Um die günstigste Bauform für

das Bodenblech und den Langträger voll ausnützen zu können, wird daher für die Bauteile, die die Pufferstöße aufzunehmen haben, als Werkstoff nur St 52 verwendet.

Für die Aufnahme diagonal wirkender Pufferstöße und von Seitenkräften erhält das Untergestell durch das Bodenwellblech eine ausgezeichnete Diagonaleifigkeit, welche die Anordnung besonderer Diagonalsstreben im Untergestell, die bisher üblich waren, überflüssig macht.

Aus den dargelegten Betrachtungen zeigt sich, daß Leichtmetall für die Aufnahme großer Pufferkräfte wegen seiner niederen Streckgrenze (16 bis 19 kg/mm^2 gegen 52 bis 62 kg/mm^2 für Baustahl St 52) keinen Gewichtsvorteil gegenüber St 52 bei gleicher Formgebung bringen wird. Für Fahrzeuge, die große Pufferkräfte im Betriebe auszuhalten haben, werden Leichtmetalluntergestelle nach den bisherigen Erkenntnissen kaum in Frage kommen. Eine Gemischtbauweise, d. h. die Verwendung von Stahl für die auf Stoß beanspruchten Teile und von Leichtmetall für den tragenden Wagenkasten wäre nur dann erträglich, wenn ausreichende Sicherheiten gegen Korrosion infolge Elementenbildung gegeben sind. Im Ausland (Frankreich) sind solche in Gemischtbauweise hergestellte Wagen seit einigen Jahren in Betrieb, ohne daß Anfrassungen an den Berührungstellen der beiden Metalle eingetreten sind. Für Sonderfahrzeuge, die meist Massenbeschleunigungs- und Hubarbeit zu leisten haben — also z. B. Stadtbahnwagen oder für Triebwagenanhänger —, können Leichtmetallfahrzeuge mit Leichtstahlwagen in Wettbewerb treten, insbesondere, wenn der hohe Preis für Leichtmetall ausgeglichen wird durch eine billigere Fertigung, die mit der Verwendung im Strangpreßverfahren hergestellter komplizierter Profile erzielt werden kann, weil durch diese weniger Bauteile notwendig werden und damit eine einfachere Montage möglich ist. Im übrigen wird die Deutsche Reichsbahn durch den Bau von Versuchsfahrzeugen mit Leichtmetallwagenkästen in nächster Zeit diese Fragen einer praktischen Klärung zuführen. Beim *W a g e n d a c h*, das ebenfalls druck- und schubsteif auszubilden ist, lassen sich Gewichtseinsparnisse erzielen, dadurch, daß die quer zur Wagenlängsrichtung angeordneten, aus Winkeleisen gebildeten Dachspiegel mit ihrem einen Schenkel an das Dachblech stumpf angeschweißt werden. Hierdurch wird neben der mit der Vermeidung der Überlappung verbundenen Gewichtseinsparung auch der Nachteil des Anrostens in diesem Bereich vermieden. Die Abstände der Spiegel sind möglichst gleich groß zu wählen, damit auch im Dach in den einzelnen Feldern gleiche Knicklängen vorhanden sind. An Stelle der bisher üblichen Längsversteifung des Wagendaches durch Profilträger oder gekantete Bleche, die mit dem Dachblech geschlossene Kastenträger bilden, können in gleicher Weise und aus den gleichen Gründen wie bei den Seitenwandblechen in Richtung der Wagenlängsachse verlaufende Sicken in das Dachblech eingepreßt werden. Es genügt jedoch, diese Sicken in der Hauptsache nur in dem schwachgekrümmten oberen Teil des Wagendaches anzuordnen.

Gegen die in Wagenlängsachse verlaufenden Sicken wird eingewendet, daß sie das Abfließen von Regenwasser erschweren. Diese Gefahr besteht jedoch nur während des Stillstandes der Wagen, da während der Fahrt das Regenwasser durch den Fahrwind abgestreift wird. Im Stillstand können aber nur ganz geringe Wassermengen im oberen Bereich der Sicken nach einem Regen zurückbleiben, die bei trockener Witterung rasch verdunsten werden, so daß die Rostgefahr außer acht bleiben kann. Im übrigen kann man aber durch die Sicken Wasserablaufrohre stecken oder sie

an den Dachspiegeln unterbrechen, damit das Wasser rasch ablaufen kann. Die einzelnen Felder des Daches sind unter sich und mit den Spiegeln miteinander zu verschweißen.

Der Wagenkasten besitzt, wie bereits erwähnt, die Gestalt einer Röhre, welche durch die Seitenwände, den Fußboden und das Dach gebildet wird. Jede dieser vier Begrenzungswände ist schubsteif ausgebildet, so daß bei ebenfalls schubfester Verbindung dieser vier Wände miteinander eine sowohl in vertikaler als auch in horizontaler Richtung biege- und verdrehungssteife Röhre entsteht, bei der im Gegensatz zu den bisherigen Bauarten nicht nur die Seitenwände, sondern auch das Dach und der Fußboden für das Widerstandsmoment voll zur Verfügung stehen. Diese Röhre wird verdrehungssteif, wenn man an mindestens zwei Stellen starre Querwände oder Verstreben anordnen kann, welche eine Formveränderung des Rohrquerschnittes ausschließen. Da die Stirnwände in der Regel einen Ausschnitt für die Übergangstüren haben und außerdem dicht neben den Stirnwänden in den Seitenwänden für die Einstiegtüren Türausschnitte angeordnet sind, können die Wagenenden für die Erhaltung der Form des Wagenkastenquerschnittes nicht ausreichend herangezogen werden. Zu diesem Zweck sind besonders schubsteife Stahlblechquerwände in der Nähe der Wagenenden z. B. in den Aborttrennwänden anzuordnen, die die Verdrehungssteifigkeit des Wagenkastens sichern. Zur weiteren Erhöhung der Verdrehungssteifigkeit sind in den Ebenen der Abteilquerwände die Untergestellquerträger, Seitenwandsäulen und Dachspiegel zu rundumlaufenden Spanten zu vereinigen und außerdem die Sperrholzquerwände mittels besonderer Stahlschienen mit den Spanten verschraubt und an der Seitengangtrennwand durch eine Stütze einzufassen, so daß auch in diesen Ebenen die Querschnittsform des Wagenkastens gegen Veränderungen geschützt ist. Auf diese Weise ist es möglich, mit Ausnahme der Hauptquerträger Kastenträger zu vermeiden, gegen die vom Standpunkt der Erhaltung mancherlei Bedenken bestehen.

Für den Wagenkasten ist also der Schalenbau zugrunde gelegt, bei welchem dünnwandige Gebilde (Schalen) durch geeignete Formgebung und zusätzliche Versteifungsmittel für alle auftretenden Beanspruchungen aufnahmefähig gemacht werden.

Für den Leichtbau der *D r e h g e s t e l l e* sind folgende allgemeine Konstruktionsgrundsätze zu beachten: Die Drehgestellrahmen werden im allgemeinen durch Kräfte aus allen drei Richtungen des Raumes beansprucht. Die günstigste Bauform für den Drehgestellrahmen wegen der Beanspruchung in lotrechter Richtung ist ein Träger mit möglichst großer Bauhöhe. Im Interesse des Leichtbaues wird man daher den Drehgestell-Langträger aus Blechen bilden, mit einem möglichst hohen Steg und mit einem Ober- und Untergurt aus Blechen, die an den anschließenden Querträgern zur Erreichung großer Diagonaleifigkeit entsprechende Ausrundungen besitzen, wobei im Zuggurt des Langrahmens Querstumpfschweißnähte zu vermeiden sind. Die Tragfedern für die Achsen und die Wiege sind an besondere Konsolen, die an dem Steg des Langträgers angeschweißt sind, aufgehängt. Durch diese Anordnung wird der Langträger auf Verdrehung beansprucht. Es ist zweckmäßig, die Konsolen an Stellen anzuordnen, an die Querträger angeschlossen werden können, die die Verdrehungskräfte aufnehmen können. Über den Achsen ist der Langträger als Kastenträger von großer Torsionssteifigkeit ausgebildet zur Aufnahme und Weiterleitung der Momente aus den horizontalen Stößen zum Kopf- und Querträger.

Ein wesentliches Erfordernis für den ruhigen Lauf der Schienenfahrzeuge ist die parallele, spielfreie und zur Fahrzeugachse senkrechte Lagerung der Radachsen im Rahmen.

Der ruhige Lauf der Schienenfahrzeuge ist nicht nur von einer spielfreien Führung der Achsen im Steifrahmen abhängig, sondern auch von dem Verhältnis der ungefederten Masse des Fahrzeuges. Im Vordergrund dieser Betrachtung steht daher der Radsatz, der gemeinsam mit Achsbuchsen und sonstigen starr auf der Achse gelagerten Maschinenteilen das ungefederte Gewicht des Fahrzeuges darstellt. Das Gewicht der ungefederten Masse ist tunlichst gering zu halten, weil diese sowohl bei vertikaler als auch bei horizontal senkrecht zur Fahrtrichtung vorkommenden Schienenunebenheiten über die Höhe des Hindernisses hinaus in einer Wurfparabel gegen die Kastenmasse geschleudert wird und Bewegungen derselben hervorruft. Der leichteste bisher geschaffene Vollbahnradsatz ist der bekannte Hohlradsatz.

Eine Gewichtsverminderung an den Radsätzen kann erzielt werden an der Achswelle, an der Radscheibe und am Radreifen.

Man hat versucht, den Wellendurchmesser und damit das Gewicht zu vermindern durch Verwendung eines hochwertigen Baustoffes. Mit dieser Gewichtsersparnis muß aber der Nachteil einer größeren Durchbiegung in Kauf genommen werden. Da die hochwertigen Baustoffe zudem noch kerbempfindlich sind, ist auf eine möglichst glatte Oberfläche zu achten. Für schnellfahrende Fahrzeuge haben sich bisher Achsen aus hochwertigem Stahl unter Verringerung des Achsdurchmessers nicht bewährt, so daß man heute wohl allgemein für Achswellen nur noch Stahl von 50 bis 60 kg/mm² verwendet, wobei man den Achsdurchmesser an der höchstbeanspruchten Stelle, nämlich unter dem Nabensitz, verstärkt. Ein weiteres Mittel zur Abminderung des Gewichtes der Achswellen besteht in der Verwendung von Hohlwellen. Hohlwellen sind aber nur dann betriebsicher, wenn ihr Baustoff einwandfrei durchgearbeitet ist und wenn die Innenflächen der Wellen vollkommen glatt sind. Solche Achswellen laufen in größerer Anzahl bei der Deutschen Reichsbahn als Laufradsätze unter Triebwagen und deren Anhänger. Ein endgültiges Urteil über die Bewährung dieser Achsen wird erst nach längerer Laufleistung gefällt werden können.

Der Landmaschinenleichtbau

„Verstärkter Einsatz der Technik“ ist zu einer gebietsrischen Forderung für die Durchführung der Erzeugungsschlacht in der Landwirtschaft geworden, nachdem der Arbeitsaufwand durch die starke Mehrerzeugung immer größer, die Zahl der verfügbaren Arbeitskräfte aber ständig kleiner geworden ist. Hierdurch wurden der deutschen Landmaschinenindustrie Aufgaben gestellt, die in normalen Zeiten ohne Schwierigkeiten hätten bewältigt werden können. Aber die angespannte Rohstofflage und der einsetzende Materialmangel drohten die Durchführung des Vierjahresplanes in der Landwirtschaft in Frage zu stellen. Es ergab sich also die zwingende Notwendigkeit, Material zu sparen und den Werkstoff besser auszunutzen, um mit der gleichen Werkstoffmenge mehr Maschinen herstellen zu können. Die Möglichkeiten hierzu gibt die Leichtbau-

Das Gewicht der Radscheiben kann vermindert werden durch die Verwendung eines hochwertigen Baustahles, z. B. St 52 oder Federstahl an Stelle bisher üblichen St 42, weil auf diese Weise die Wandstärke schwächer gehalten werden kann. Außer der in den Regelscheiben vorhandenen radialen Wellung kann nach dem Vorschlage von Kreifjig auch eine achsiale Wellung angeordnet werden, wodurch eine Art Wellblechwirkung erzielt wird. Durch Verwendung eines hochwertigen Baustoffes aus SMS St 75 bis 85 kg/mm² und wellenförmigen Querschnittes der Radscheibe können etwa 180 kg je Radsatz gespart werden, wobei außerdem die radiale Nabenfederung etwa das zwei- bis dreifache der bestehenden Ausführungen beträgt, so daß bei gleichen Anarbeitungstoleranzen die Toleranzspanne der Aufpreßdrücke auf etwa 1/3 der bestehenden vermindert werden kann, wodurch eine Senkung der Nebenspannungen in der Achse erreicht wird. Eine solche Scheibe ist daher in der Lage, die Schrumpfkkräfte ohne wesentliche bleibende Verformung aufzunehmen. Bei einer sorgfältigen Bearbeitung kann auch ein guter Wärmeübergang zwischen Radreifen und Scheibe erzielt werden. Leichtadscheiben haben im Betrieb noch zu keinen Anständen Anlaß gegeben.

Einen wesentlichen Anteil am Gesamtgewicht eines Radsatzes hat der Radreifen, der bei 75 mm Stärke 40% des Gesamtgewichtes beträgt. Vom Standpunkt der wirtschaftlichen Ausbesserung der Fahrzeuge sind möglichst starke Radreifen anzustreben, da das Abdrehen der Radreifen verhältnismäßig billiger ist gegenüber einer Neubereifung. Auch vom Standpunkt der Stahlersparnis soll man nicht zu schwache Radreifen wählen. Die Abnutzung der Radreifen kann verringert werden durch Verwendung von Stahl hoher Festigkeit. Durch diese Maßnahme wird allerdings die Abnutzung von Radreifen auf die Schiene verlegt. Es hat sich vorläufig nicht als zweckmäßig erwiesen, eine Gewichtsverminderung beim Radreifen anzustreben, wegen der damit verbundenen Nachteile. Auch Vollräder, also Räder, deren Radreifen und Scheiben aus einem Stück gewalzt sind, haben sich bei Verwendung von Leichtadscheiben noch nicht vollkommen bewährt.

Die Deutsche Reichsbahn hat eine Reihe von Versuchsfahrzeugen mit besonders leichtem Gewicht im Betriebe und im Bau, so daß in nächster Zeit im praktischen Betrieb genügende Erfahrungen gesammelt werden können, die zu einer allgemeinen Einführung nach entsprechender Vervollkommnung führen können.

Von Dipl.-Landwirt Hoffmann*)

Beratungsstelle für Stahlverwendung, Düsseldorf

weise, und deshalb ist das Wort „Leichtbau“ auch plötzlich so volkstümlich im Landmaschinenbau geworden.

Die Umstellung hätte aber niemals so schnell und reibungslos erfolgen können, wenn nicht bereits seit einigen Jahren Bestrebungen im Gange gewesen wären, die Landmaschinen durch bessere und leichtere Konstruktionen leichtzügiger, haltbarer und billiger zu machen. Bestrebungen, die, wie die folgenden Beispiele ausweisen werden, zu sehr guten Erfolgen geführt haben.

Zugegeben, daß die Vorbedingungen für eine Materialeinsparung auf dem Gebiet der Landtechnik vielleicht besonders günstige waren, weil aus Unkenntnis früher schwerer gebaut und ein größerer Sicherheitsfaktor als notwendig genommen wurde.

Auch dort hat man verstärkt, wo etwas gebrochen ist

*) Abb. des Verfassers

und hat dem Grundsatz „Was bricht, muß man schwächen, damit es sich biege“ wenig Vertrauen entgegengebracht. Nur hat man auf den anderen Gebieten der Technik nicht in dem Maße mit der konservativen Einstellung des Abnehmers zu rechnen, wie dieses bei den Landwirten der Fall ist. Nur was schwer ist, ist stabil! Das ist die Meinung, die auch heute noch oft genug geäußert wird und die die Einführung der Leichtbaukonstruktionen so sehr erschwert.

Alle Maßnahmen zur Herstellung leichterer Maschinen scheiterten aber in erster Linie aus dem Grunde, weil die in den Landmaschinen auftretenden Kräfte und Beanspruchungen infolge Fehlens geeigneter Meßgeräte und Meßverfahren nicht bekannt waren.

Bei den Landmaschinen kommen im Gegensatz zu anderen Zweigen der Technik verhältnismäßig wenig Dauerbrüche vor. So überraschend das zunächst anmuten mag, so ist doch die Erklärung darin zu suchen, daß die Beanspruchungen im normalen Betrieb im allgemeinen sehr gering sind, ja, oft nur wenige Kilogramm je Quadratmillimeter betragen. Durch außergewöhnliche Umstände können aber Beanspruchungsspitzen entstehen, die eine solche Höhe erreichen, daß Verbiegungen oder Gewaltbrüche auftreten.

Die bisherigen Konstruktionen sind diesen Gewaltbeanspruchungen entsprechend dimensioniert worden, und so ergab sich das Bild, daß die Landmaschinen nur für die ganz seltenen Augenblicke einer Gewaltbeanspruchung mit Werkstoff bepackt wurden, der während 99% ihrer Betriebszeit nur sehr schlecht ausgenutzt wurde. Es ließ sich also der Werkstoffaufwand auf einen Bruchteil des bisherigen herabsetzen, wenn es gelang, die Beanspruchungsspitzen zu vermeiden oder ihre Einwirkung auf die Konstruktion zu verringern.

Solange man die in den Landmaschinen wirksamen Kräfte und ihre Größe noch nicht oder nur unvollkommen kannte, solange sich der Konstrukteur auf sein — zwar durch Beobachtung geschultes — „Gefühl“ verlassen mußte, so lange war an eine Werkstoffeinsparung noch nicht zu denken. Und die Ermittlung dieser Kräfte machte bei den Landmaschinen sehr große Schwierigkeiten.

Es ist aber gelungen, diese Schwierigkeiten allmählich zu überwinden, und es ist das besondere Verdienst des Instituts für Landmaschinenbau der Technischen Hochschule Berlin unter Leitung von Herrn Dr. Klotz, Untersuchungsverfahren ausgearbeitet zu haben, welche die Vorausberechnung der Abmessungen einer Landmaschine ermöglichen. An einem Beispiel möchte ich diese Untersuchungsmethoden aufzeigen.

In der Packerwelle eines Bindemähers hat man es mit mehreren aufeinanderfolgenden Erscheinungen

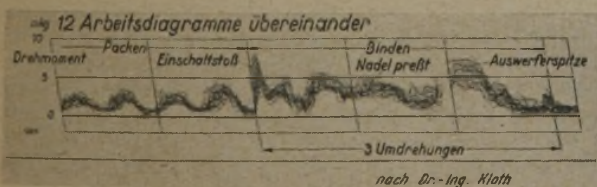


Abb. 1: Drehmomentverlauf in der Packerwelle eines 5-Pferde-Binders

zu tun, die sich bei jeder Garbe wiederholen: Packen der einzelnen Getreidehalme, Binden und Auswerfen der Getreidegarbe. Der Drehmomentverlauf (Abb. 1) nimmt je nach Dichte des Getreidestandes, der Fahrgeschwindigkeit und anderer Faktoren verschieden hohe Werte an.

Daß aber eine Gesetzmäßigkeit vorhanden ist, beweist das Uebereinanderzeichnen mehrerer solcher Kurven. Wir sehen hier die regelmäßig wiederkehrenden Arbeitsspitzen der Packer, die Wirkung des Stoßes beim Einschalten des Bindegetriebes und die Arbeitsspitze, die beim Auswerfen der Garbe auftritt. Da man auf diese Weise aber nur eine beschränkte Anzahl von Garbenperioden übereinanderzeichnen, also nicht den gesamten Streubereich erfassen kann, ermittelt man das Streugebiet beliebig vieler Diagramme durch punktweise Auswertung der aufgenommenen Einzeldiagramme.

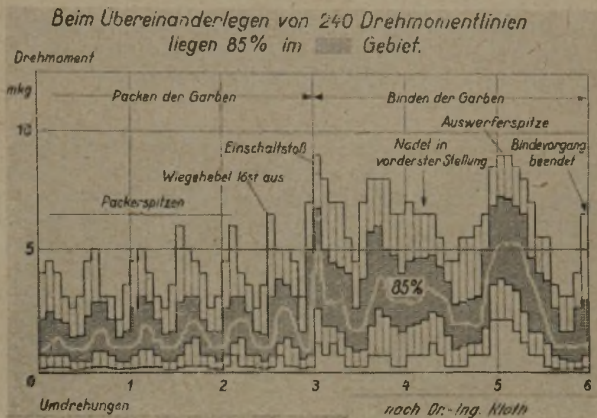


Abb. 2: Der häufigste Drehmomentverlauf in der Packerwelle eines 5-Pferde-Binders

Abb. 2 zeigt den Streubereich von 240 übereinandergelegten Garbendiagrammen. 85% liegen in dem schraffierten Gebiet, und die in diesem Gebiet gezeichnete weiße Linie ist die Verbindung der häufigsten Werte, also der häufigste Drehmomentverlauf.

Wir wollen an diesem Beispiel auch gleich noch die Wirkung von gelegentlichen Betriebsstörungen betrachten. Beim Verstopfen der Nadel der Auswerferarme oder der Packhebel z. B. treten sehr viel höhere Störungsdrehmomente auf. Das häufigste Drehmoment der Packerwelle liegt bei 1 m/kg, die Spitzendrehmomente beim Einschalten des Bindegetriebes und beim Auswerfen der Garbe erreichen einen häufigsten Wert von etwa 5 m/kg, dagegen wurde bei Betriebsstörungen — in diesem Falle bei Verstopfungen — das Fünffache, nämlich 24 m/kg gemessen!

Dieser Wert ist aber bisher maßgebend für die Konstruktion der Packerwelle, also für den Werkstoffaufwand gewesen. Allgemein gesehen, bedeutet das: Je weiter die häufigsten Betriebsbeanspruchungen und die Gewaltbeanspruchungen auseinander liegen, um so ungünstiger wird der Werkstoff ausgenutzt und um so mehr Werkstoff wird gebraucht.

Wir können demnach Landmaschinen nur dann leicht bauen und damit an Werkstoff sparen, wenn es gelingt, die stoßartigen Spitzenbeanspruchungen zu vermeiden oder ihre Einwirkung auf die Maschinen auszuschalten. Hierfür gibt es Maßnahmen, die heute bereits im Landmaschinenbau angewendet werden.

An erster Stelle sind die Sicherheitsglieder zu nennen, die bereits eine große Rolle spielen. Rutschkupplungen, auslösende Zughaken, Bruchbolzen und andere Verbindungselemente dienen dazu, Kräfte nur bis zu einer begrenzten Höhe zu übertragen und die Verbindung bei Ueberbeanspruchungen zu lösen. Wichtig ist natürlich die richtige Bemessung und Einstellung. Aus der Häufigkeitskurve der Betriebskräfte

läßt sich entnehmen, wann die Sicherheitsvorrichtung ansprechen muß, damit der Zweck erreicht wird.

Bei Maschinen, deren Antrieb durch die Fahrräder erfolgt, tritt eine Sicherung gegen Gewaltbeanspruchungen durch das Rutschen der Räder ein. Hier kommt es auf die richtige Bemessung des Raddrucks und der Radabmessung an. Spitzenbeanspruchungen lassen sich auch durch Verkleinern der Massen, die beschleunigt werden müssen, oder durch Verkleinern der Beschleunigungen vermeiden. Geschwindigkeitsänderungen führen ebenfalls zu Beanspruchungsspitzen und sind daher nach Möglichkeit auszuschalten.

Uns aber interessieren hier in erster Linie die konstruktiven Maßnahmen, die ergriffen werden können, um unerwünschte Beanspruchungen unwirksam zu machen.

An Hand der Häufigkeitskurven kann der Konstrukteur die Maschinenteile so bemessen, daß er mit geringstem Werkstoffaufwand auskommt. Hier erkennen wir die Bedeutung der wissenschaftlichen Forschung für die allgemeine Anwendung des Leichtbaues im Landmaschinenbau, wobei nur zu wünschen ist, daß möglichst bald die notwendigen Untersuchungen an allen Landmaschinen und ihren einzelnen Bauelementen durchgeführt werden, damit endlich überall das „Gefühl“ durch die exakte Berechnung ersetzt werden kann.

Landmaschinen kann man nicht wie etwa Kraft- oder Werkzeugmaschinen starr bauen. Dadurch würden nur die Beanspruchungen erheblich größer, die Konstruktion infolgedessen schwerer und die Maschinen teurer. Durch die elastische Bauart läßt sich vielfach das Auftreten von Kräften vermeiden. Ackerwagen- oder Maschinenrahmen müssen sich den Bodenunebenheiten anpassen können, damit hohe Spitzenbeanspruchungen gar nicht erst auftreten können. Fahrzeugräder, besonders solche, die häufig auf Pflaster laufen, sind nur dann von langer Haltbarkeit, wenn sie elastisch und in sich federnd gebaut sind. Darum konnten sich die ersten Stahlräder als Ersatz für Holzräder nicht durchsetzen, weil sie als Druckspeichenräder zu starr waren und die vielen kleinen Stöße nicht abfederten. Bessere Erfahrungen wurden mit der daraus entwickelten Form der Zugspeichenräder gemacht. Die Einführung der Gummibereifung in die Landwirtschaft schuf schließlich ganz neue Möglichkeiten, die sich nicht nur bei den Fahrzeugen, sondern auch bei den Landmaschinen im Sinne des Leichtbaues auswirkten.

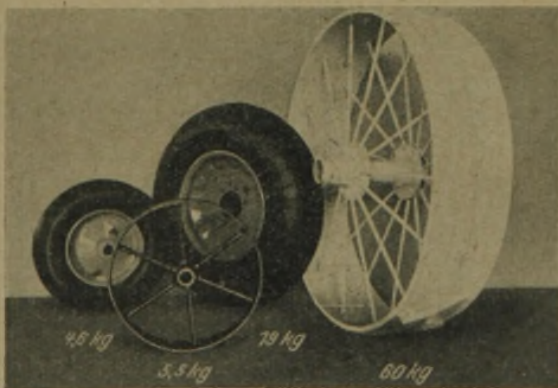


Abb. 3: Leichtbau durch Stahlblech und Gummiverwendung bei Schubkarrenrädern und Rädern für Bindemäher

Durch geschickte Formgebung ist es gelungen, die große Tragfähigkeit des Werkstoffes Stahl bei geringstem Werkstoffaufwand auszunutzen und im Zusam-

menhang mit der Gummiverwendung folgende Vorteile zu erzielen: kleiner Rollwiderstand, Herabsetzung des Kraftaufwandes auf etwa die Hälfte, gute Abfederung, hohe Tragfähigkeit, geringes Gewicht, Zugkraft- und Werkstoffersparnis (Abb. 3).

Weitere Beispiele für die elastische Bauweise finden wir eigentlich bei allen Landmaschinen und Geräten, ja, wir können direkt von einem für den Landmaschinenbau typischen Baustil sprechen, entstanden aus dem Bestreben, durch konstruktive Maßnahmen die Beanspruchungsspitzen in ihrer Höhe zu begrenzen oder ihre Entstehung zu verhindern.

Die Werkstoffeinsparung durch Leichtbau beschränkt sich im Landmaschinenbau im wesentlichen auf Eisen und Stahl. Sie gewinnt erhöhte Bedeutung durch die Tatsache, daß der Landmaschinenbau der größte Eisenverbraucher in der Wirtschaftsgruppe Maschinenbau ist, so daß sich also hier eine Einsparung besonders stark auswirkt.

Leichtmetalle oder Kunststoffe sind im Landmaschinenbau bis auf einzelne Versuche im Sinne des Leichtbaues bisher noch nicht eingesetzt worden. Ein Beispiel zeigt Abb. 4.

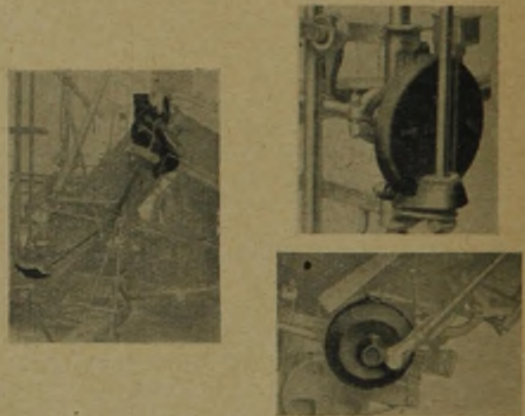


Abb. 4: Aluminiumgußteile an einem Bindemäher

Es handelt sich hier um Aluminiumgußteile, die eine Landmaschinenfirma zur Gewichtsverringering für das Oelbadgehäuse und verschiedene Getriebeabdeckungen bei Bindemähern verwendet.

In ähnlicher Weise können Magnesiumlegierungen für einzelne Bauelemente und Konstruktionsteile bei Ernte- und Dreschmaschinen Anwendung finden. Bei Gabelgehäusen der Heuwender z. B. läßt sich Magnesium wirtschaftlich verwenden und bei allen Teilen, die sich im Preßgußverfahren herstellen lassen, da diese preisgünstig geliefert werden können.

Es darf aber bei der Prüfung der Verwendbarkeit der neuen Werkstoffe im Landmaschinenbau nicht außer acht gelassen werden, daß der Anteil der Werkstoffkosten am Preis der Landmaschinen unverhältnismäßig höher ist als bei anderen Maschinen. Die Kilogrammpreise der Landmaschinen liegen sehr niedrig, im allgemeinen zwischen 50 Rpf. und 1,— RM. Der hohe Preis der neuen Werkstoffe läßt ihre Anwendung daher zur Zeit nur in wenigen Fällen tragbar erscheinen. Dieses gilt sogar in gewissem Umfang für das Holz, das für den Leichtbau als Sperrholz verwendet werden mußte, und das dann ebenfalls zu teuer wird.

Es bleibt einer vielleicht nicht allzu fernen Zukunft überlassen, die Frage der Verwendung von Magnesium-Legierungen im Landmaschinenbau zu prüfen,

und es wird für die Landmaschinenindustrie wichtig sein, die Entwicklung auf anderen Gebieten der Technik zu verfolgen.

Jedoch erschöpft sich die Leichtbauweise nicht darin, Werkstoffe von hohem spezifischem Gewicht, wie Stahl oder Gußeisen, durch solche von geringerem spezifischem Gewicht, wie Leichtmetalle, zu ersetzen. Die Ausführungen von Herrn Direktor Kreifzig haben deutlich gezeigt, daß bei dem heutigen Stand der Technik der Grundsatz des Leichtbaues darin liegt, Leichtformbau neben Leichtstoffbau zu betreiben, um zunächst die zum Teil noch gar nicht ausgenutzten Eigenschaften unserer Schwermetalle Eisen und Stahl bis zum letzten im Sinne des Leichtbaues und der Werkstoffersparnis einzusetzen.

Als erstes Mittel, von dem bereits zahlreiche Firmen Gebrauch gemacht haben, ist der Uebergang zu Stählen höherer Festigkeit zu nennen, da hierdurch die Querschnitte und damit die Baugewichte ganz erheblich verringert werden können. Leichtbinder mit 100 kg, Hackmaschinen mit 12 bis 15% Ersparnis, Bodenbearbeitungsgeräte und insbesondere Fahrzeuge sind hierfür als Beispiele zu nennen. Unter Umständen kann hier ein Drittel bis die Hälfte der bisherigen Stahlmenge gespart werden. Stähle höherer Festigkeit sind zwar teurer als die bisher verwendeten, aber auf die Festigkeit bezogen, sind sie sogar billiger als z. B. St37 oder St42. Häufig findet man in der Praxis allerdings noch Fälle, bei denen man wohl Stähle höherer Festigkeit genommen hat, ohne aber ihre Möglichkeiten voll auszunutzen. Die Gründe liegen zum größten Teil in der anfangs erwähnten Unkenntnis über die auftretenden Kräfte und Beanspruchungen. Hier wird aber die Fortsetzung der wissenschaftlichen Untersuchungen bald Wandel schaffen.

Noch größere Materialersparnisse kann man aber durch geeignete Formgebung der Profile erzielen. Ein Beispiel für die Anwendung eines warmgewalzten



Abb. 5: Gewalztes Felgenprofil für Grasmäher

Sonderprofils ist das in Abb. 5 dargestellte Felgenprofil für Grasmäher, das ganz neu entwickelt worden ist. Das Profil hat ein Metergewicht von 4,3 kg, die Felge wiegt 10,4 kg.

So läßt sich der Wirkungsgrad der Werkstoffausnutzung durch Verwendung günstiger Leichtprofile

wesentlich erhöhen, wobei z. B.

durch eine Gewichtsverminderung auf ein Drittel des Gewichtes üblicher Normalprofile ein solches Leichtprofil über dreimal so teuer sein darf, ohne daß seine Anwendung deshalb unwirtschaftlich wird.

Zu den Leichtprofilen gehören die Bandstahlprofile. Die bekannten C-Profile fanden 1932 zum erstenmal Anwendung im Landmaschinenbau, und zwar bei Kartoffelsortiermaschinen. Eine schwache Stelle war damals, wie leider auch heute noch vielfach, die Verbindung der Profile miteinander. Die Anwendung der Schweißung hat schon viel gebessert, aber es wird noch weitgehender Aufklärungsarbeit bedürfen, um die Widerstände gegen

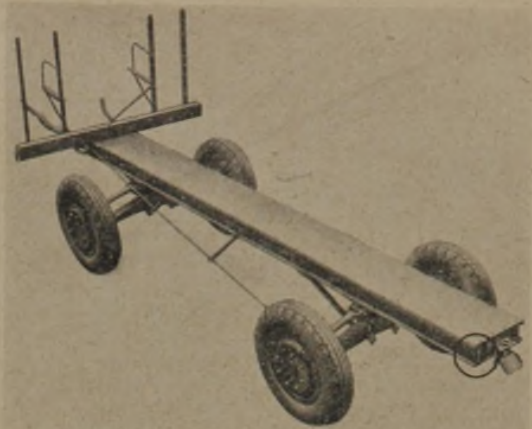


Abb. 6: Ackerwagenuntergestell. Kastenträger aus C-Profilen mit Deckblechen

die Leichtprofilverwendung zu beseitigen, die gerade hauptsächlich darin begründet liegen, daß man über die zweckmäßigste Ausführung der Anschlüsse und Verbindungen zu wenig unterrichtet ist.

Die gleichen Profile sind auch als Längsträger für Ackerwagen verwendet worden, wie Abb. 6 zeigt. Hier ist allerdings die Gefahr der Korrosion vorhanden, da sich Wasser und Schmutz zu leicht in den aufgebogenen Profilrändern sammeln können. Durch eine Aenderung der Konstruktion läßt sich dieser Mangel aber beheben.

Leichtprofile aus abgekanaltem Blechen haben zuerst im Strohpressenbau größere Anwendung gefunden. Sehr gut konstruiert sind Häckselmaschinengestelle aus den gleichen Profilen, die vollständig geschweißt sind. Hier ist es durch völlige Abkehr von der bisherigen Holzkonstruktion gelungen, Gewicht zu sparen und verwindungsfeste Gestelle zu erhalten, die allen Beanspruchungen gewachsen sind.

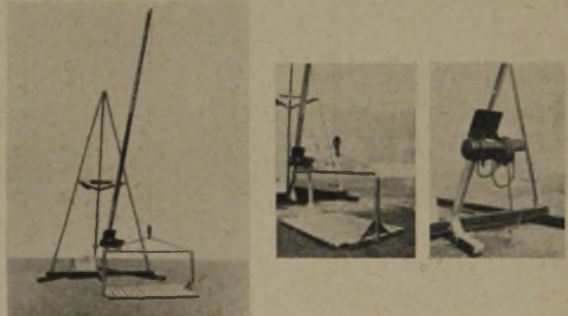


Abb. 7: Dreibockdrehkran, der unter Verwendung von Bandstahlleichtprofilen hergestellt worden ist

Interessant ist auch der in Abb. 7 wiedergegebene Dreibockdrehkran, der zur Dungstapelung verwendet wird. Alle Teile sind aus C-Profilen gefertigt und mittels Schweißung miteinander verbunden. Besondere Beachtung verdienen die konstruktiven Einzelheiten vom Kopf und Fuß des Auflegers (Abb. 8). Sie zeigen eine vorbildliche Lösung der Uebergänge und Verbindungen von Leichtprofilen mit Gußeisen.

Auch für Räder hat man die Bandstahlleichtprofile bereits verwendet, wobei man allerdings zur Erhöhung der Festigkeit ein etwas anderes Profil wählt. Derartige Räder werden für Düngerstreuer sowie auch für andere Maschinen wie Bindemäher, Strohpressen und andere hergestellt.



Abb. 8: Auslegerkopf und Auslegerfuß eines Derrick-Krans

ermöglichen eine leichtere Konstruktion der Maschine. Auch hier gilt der Grundsatz des Leichtbaues, daß alle tragenden Bauteile als Träger gleicher Festigkeit auszubilden sind, damit der Werkstoff möglichst an allen Stellen voll ausgenutzt wird.

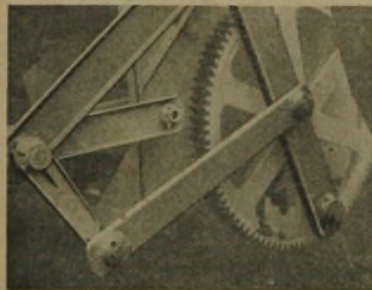


Abb. 9: Gepreßte Stahlblechprofile für die Kolben- und Rechenführung einer Strohpresse

Diese Forderung erfüllt der Preßkolben einer Strohpresse (Abb. 10), der in Fachwerkausführung aus gepreßten hohen Blechträgern und unter Verwendung von leichten Stahlblechprofilen und gewölbten Blechen mittels Punktschweißung hergestellt ist.

Auch die Kolbenzugstangen von Strohpressen werden aus zusammenschweißten U-förmigen Stahlblechprofilen hergestellt. Die Gußeisenlager sind mit diesen Profilen durch Schrauben verbunden.

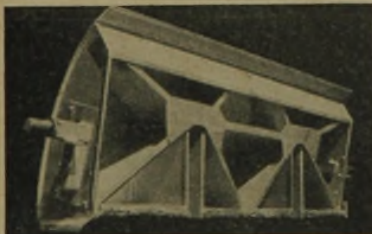


Abb. 10: Preßkolben einer Strohpresse in Stahlblechkonstruktion

Wenn ein Träger neben Biegungs- auch Verdrehungskräfte aufnehmen muß, wählt man geschlossene oder sogenannte Hohlprofile, zu denen in erster Linie Rohre von rundem, elliptischem oder eckigem Querschnitt gehören. Einige Möglichkeiten der Herstellung von Hohlprofilen aus offenen Profilen zeigt Abb. 11. Das Stahlrohr als Leichtbauelement hat sich im Landmaschinenbau im Laufe der letzten Jahre immer mehr eingeführt. Wir finden es zum Beispiel als Rohrachse bei einer Drillmaschine, bei der es dazu dient, die wäh-

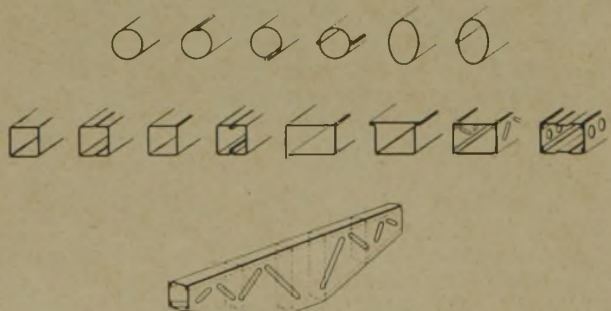


Abb. 11: Verschiedene Muster von deutschen Hohlprofilen aus Stahl

rend der Arbeit auftretenden Verwindungen der Sävvorrichtung und die dadurch auftretenden Ungleichmäßigkeiten der Aussaat zu verhindern. Hierdurch ist eine umständliche Gestellkonstruktion vermieden und eine Gewichtsersparnis von etwa 10% erzielt worden. Das bedeutet gleichzeitig eine Zugkraftersparnis von 2%. Auch bei Vorderwagen der Drillmaschinen (Abb. 12) werden Stahlrohre angewendet, nachdem durch die Schweißung ein neuer Weg konstruktiven Gestaltens erschlossen worden ist. Die umständliche Niet- oder Schraubverbindung, die den offenen Träger notwendig machte, konnte in Fortfall kommen und die gesamte Konstruktion vereinfacht und leichter gemacht werden.

Dieses gilt auch für die Stahlrohrkonstruktion eines Höhenförderers. Hier hat man Stahlrohre größeren Durchmessers verwendet, die man teleskopartig ineinanderschieben kann. Auf diese Weise kann der Höhenförderer auf kleinstem Raum aufgestellt werden. Bei einem Dungkran, zu dessen Konstruktion fast ausschließlich Stahlrohre Anwendung gefunden haben, konnte das Eigengewicht auf rund 100 kg herabgesetzt werden.

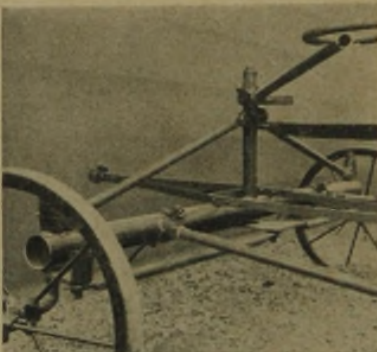


Abb. 12: Stahlrohrverwendung bei dem Vorderwagen einer Drillmaschine

Ein Stahlrohr großen Durchmessers wird als Hauptträger bei einer Ganzstahldreschmaschine (Abb. 13) benutzt, die dadurch und im Zusammenhang mit zwei U-förmigen Tragelementen in Leichtkonstruktion ein absolut verwindungsfestes Maschinengestell bei geringem Eigengewicht erhalten hat.

Eine interessante Anwendung der Rohrkonstruktion ist der Pflug, bei dem der bisher aus Flachstahl oder offenen Profilen bzw. aus Holz hergestellte Pflugbalken durch ein Stahlrohr ersetzt ist. In ähnlicher Form findet man das Rohr auch bei Hackgeräten, wo es sich sehr gut bewährt hat. Bei mehrscharigen Anhängerpflügen verwendet man auch den Hohlträger als rundes oder vierkantiges Rohr, das über den Rahmen gelegt und mit diesem durch angeschweißte bogenförmige Bleche verbunden, zur Verstärkung und Aufnahme der Verdrehungsbeanspruchungen dient.



Abb. 13: Gestell einer Stahldreschmaschine. Stahlrohr als Hauptträger mit U-förmigen Tragstützen in Leichtkonstruktion

Elliptische Stahlrohre in Verbindung mit gepreßten Blechprofilen haben bei der Schiebekarre nach

Abb. 14 Anwendung gefunden. Die Tragfähigkeit beträgt 350 kg, das Eigengewicht 28 kg. Diese Stahlkarre ist etwa ein Drittel leichter als die entsprechende Holzkarre. Mit gummibereiften Rädern ausgerüstet, findet sie in der landwirtschaftlichen Praxis immer mehr Eingang.



Abb. 14: Stahlschiebkarre aus elliptischen Rohren und Blechprofilen

Eine wirklich formschöne und vorbildliche Leichtbaukonstruktion ist die Kartoffelerntemaschine für Schlepperantrieb. Die Verwendung der Maschine erfordert eine offene Bauweise, damit Verstopfungen während des

Betriebes unbedingt vermieden werden. Deshalb der offene, verwindungssteife Rahmen, der durch die Verwendung von Rohr- und Abkanprofilen und Anwendung der Schweißung erreicht wird. Die beiden Hauptträger aus Stahlrohren (Abb. 15) dienen gleichzeitig zur Lagerung der Fahrradachsen und die kraftflüssig angeschweißten Rohrstützen zur Aufnahme der Scharbügel.

Bei den Blechträgerprofilen handelt es sich um offene Profile, da diese keine Verdrehungskräfte aufzunehmen haben.

Wenn bisher nur von den Profilen und ihrer Bedeutung für den Leichtbau und die Materialeinsparung gesprochen wurde, so bedeutet dieses nicht, daß damit alle Möglichkeiten erschöpft sind, denn unter „Stahlleichtbauweise“ ist keineswegs nur der Zusammenbau eines Maschinengestells aus Profilstählen geringerer oder höherer Festigkeit oder aus Leichtprofilen der verschiedenen Arten zu verstehen. Wir müssen die übrigen Bauteile ebenfalls im Sinne des Leichtbaues erfassen und auch bei ihnen danach trachten, die im Baustoff



Abb. 15: Rohr- und Abkanprofile bei einem Schlepperröder

vorhandenen Möglichkeiten durch materialgerechte Ausnutzung und beste werkstatt-technische Behandlung werkstoffsparend einzusetzen.

Große Maschinenflächen werden im allgemeinen aus Stahlblech hergestellt. Ohne die Qualitätsentwicklung des Stahlblechmaterials hätten wir niemals die heutigen geringen Baugewichte erzielt. Erst das hochwertige, kastengeglühte Stahlblech, das sich leicht biegen, stanzen, bördeln und durch eingepreßte Rippen versteifen läßt, hat die Voraussetzung für eine Leichtbauanwendung in großem Umfang geschaffen. Durch Ausnutzung dieser Eigenschaften wurde das Blech vom Verkleidungsbaustoff zum selbsttragenden Baukörper.

Diese Entwicklung wird deutlich an dem Bild der Ausführungsformen des Schwingkolbens einer Strohpresse (Abb. 16). Hieran ist auch

gleichzeitig die wesentliche Vereinfachung und Verbesserung durch die Anwendung der Stahlblechkonstruktion zu sehen.

Gebördelte Stahlbleche mit gegeneinander verschränkter Profilbildung geben dem Gestell der Schwingkolbenstrohpresse (Abb. 17) die große Festigkeit gegen Verwindungen.

Interessant ist, daß dem Stahlblech sogar zugemutet werden kann, alle Lager für Antrieb, Bindung und Pressung aufzunehmen, ohne daß deshalb eine Beeinträchtigung des Arbeitsvorganges zu befürchten wäre. Hier handelt es sich in der Tat um eine Präzisionsarbeit im Leichtbau, die ein Vorbild für andere Konstruktionen sein kann.

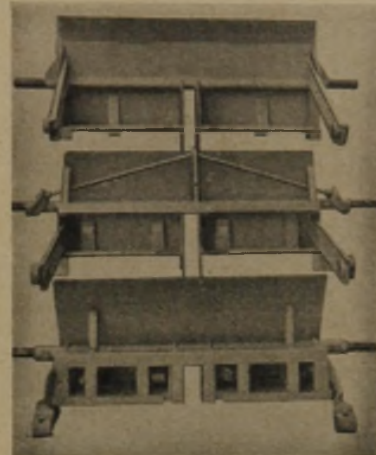


Abb. 16: Entwicklung in der Bautechnik des Schwingkolbens einer Strohpresse (oben: geschweißte Stahlkonstruktion, Mitte: Schraub- und Nietkonstruktion, unten: Holzkonstruktion)

Das Bild des Chassis eines Ganzstahllackewagens (Abb. 18) zeigt in einem Schnitt durch die Bodenplatte, wie das Stahlblech durch geeignete Profilierung und in Verbindung mit abgekanteten Blechprofilen zu einem einzigen Kastenträger geworden ist, der Wagenboden und Wagenchassis in sich vereinigt.

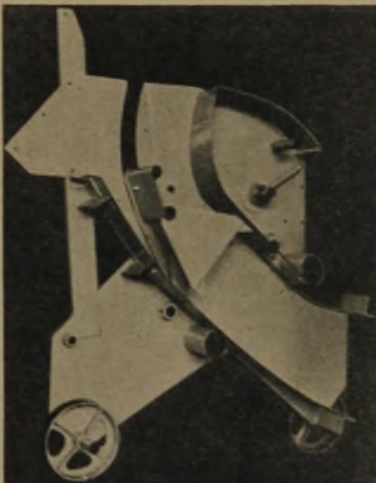


Abb. 17: Gestell einer Schwingkolben-Strohpresse in verwindungssteifer Leichtkonstruktion

Stahlblech finden wir auch an Stelle von Profilen und Gußteilen bei der Kartoffelerntemaschine nach Abb. 19. Die Seitenteile der Siebfläche, der Auslauf und die Antriebshebel sind aus gepreßtem Stahlblech hergestellt, so daß hier eine wesentliche Gewichtseinsparung erzielt werden konnte.

Bei Kartoffelwaschmaschinen ist der Leichtbau durch nahezu restlose Anwendung von gepreßtem Stahlblech so weit getrieben, daß außer den Lagern im Gewicht von etwa 4 kg kein Gußeisen an der Maschine zu finden ist. Schraub- und Nietverbindungen sind weitestgehend durch Schweißung ersetzt worden. Für den Krafttrieb der Waschmaschinen wird ein Schneckenvorgelege verwendet, das bisher auf einem Winkeleisenfuß angebracht war. Heute wird auch hierfür gepreßtes Stahlblech verwendet. Der geschweißte Stahlkastenfuß ergibt etwa 40 % Gewichtseinsparnis und eine gefälligere und auch zweckmäßigere Form, da dieser Blechfuß zur Aufnahme des Werkzeuges benutzt werden kann.

Dieses Beispiel erinnert zugleich noch einmal an den Leitsatz, daß man wirklichen Leichtbau nur dann be-

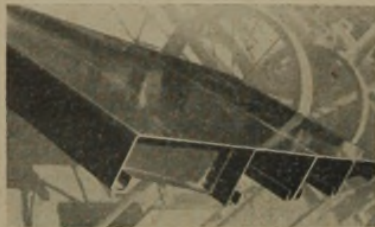


Abb. 18: Bodenplatte eines Stahllackerwagens

treibt und Werkstoff und Gewicht nur dann spart, wenn man Maschinen und Geräte in ihrem ganzen Aufbau durchkonstruiert. Es ist ebenso falsch, nur die größten und schwersten Bauteile in leichter Ausführung herstellen zu wollen und die vielen kleinen Einzelteile unberücksichtigt zu lassen, wie umgekehrt nie eine form- und werkstoffgerechte Konstruktion entstehen kann, wenn man den Leichtbau nur bei einzelnen kleinen Bauelementen durchführt.

An den bisher erwähnten Beispielen habe ich einen Ueberblick über den heutigen Stand der Anwendung der Leichtbautechnik im Landmaschinenbau geben können. Zum Schluß mögen noch einige zahlenmäßige Unterlagen über erreichte Material- und Gewichtsersparnisse gegeben werden.

Vorbildlicher Leichtbau unter Ausnützung aller Eigenschaften, die der Werkstoff bietet, wurde erreicht bei dem Preßkolben einer Strohpresse, der früher 320 kg, jetzt nur noch 137 kg wiegt und damit eine Gewichtsersparnis von 57,2% aufweist.

Bei Riemenscheiben für Strohpressen kann durch den Uebergang von der Guß- zur geschweißten Stahlkonstruktion 40% an Gewicht gespart werden.



Abb. 19: Kartoffelerntemaschine mit gepreßten Stahlblechteilen

Verformbarkeit des Stahlbleches zur Erzielung der günstigen Form für die Kraftübertragung ausgenutzt. Sie ergibt gegenüber der geschmiedeten Ausführung aus ST 37 eine Gewichtsersparnis von 50,7%.

Die Strohpressennadel aus Stahl wiegt in Leichtbauausführung nur noch 5,5 kg, während die frühere Ausführung aus Temperguß noch 9,5 kg wog. Das bedeutet eine Gewichtsersparnis von 42%. Welche Vorteile außerdem mit dieser Umstellung verbunden sind, geht andeutungsweise daraus hervor, daß eine besondere Behandlungsvorschrift nicht mehr notwendig ist.

Das sind die Ersparnisse, die durch den Leichtbau bei einzelnen Bauteilen erzielt werden konnten. Bei der ganzen Maschine, der Strohpresse, wirkt sich dies durch eine Gewichtsverminderung von über 4000 kg, bei früheren Ausführungen auf etwa die Hälfte aus.

Hier sieht man, was durch eine gut entwickelte Konstruktion, beste Werkstoffauswahl und Werkstoffausnutzung und durch weitgehende Anwendung der

Schweißung, kurz gesagt durch „Leichtbau“ im Sinne der Werkstoffeinsparung erreicht werden kann.

Das gleiche gilt für die Dreschmaschine. Zunächst wieder einige Bauteile: Der Krümmeruntersatz könnte gewichtsmäßig um 77,5% herabgesetzt werden, die Spreubläserplatte um 44,1%, die große Gebläseplatte um 54,9%. Bei den Rohrkrümmern wird das Gewicht auf rund $\frac{1}{5}$ herabgesetzt durch richtige Ausnutzung von dünnwandigem Stahlblech gegenüber der dickwandigen Ausführung in Grauguß.

Eine Dreschmaschine für eine Leistung von 55 bis 70 Zentner Weizen je Stunde wog früher 7865 kg, heute wiegt die entsprechende Maschine der gleichen Leistung nur 4635 kg, also 41% weniger. Und das alles, obwohl das Verhältnis der spezifischen Gewichte von Stahl zu Holz wie 7,8 zu 0,4 bis 0,8 oder wie 20 zu 1 bis 2 ist.

Bei Gußeisen als Leichtbaustoff kommt es nicht darauf an, Gußeisen unter allen Umständen durch Stahl zu ersetzen. Das gilt nur für die Bauteile, die noch in schwerem Guß ausgeführt werden und die besser, stabiler und leichter in Stahl angefertigt werden können. Die Entwicklung ist aber auch beim Gußeisen fortgeschritten, und es ist gelungen, dünnwandigen

Saatgut-Reinigungsanlage

Gewicht:		Preis:
1330 kg	1928: 14-15 Ztr. Stundenleistung	1985,-RM.
426 kg	1938: 10-12 Ztr. Stundenleistung bei schärferer Sortierung	565,-RM.

Gewichtsersparnis 68,0%

Preisersparnis 71,5%

Abb. 20: Gewichts- und Preisersparnis durch Leichtbau bei Saatgut-Reinigungsanlagen

Guß herzustellen, der allerdings eine gute Einrichtung der Modelle und sorgfältiges Arbeiten der Gießerei zur Voraussetzung hat. Immerhin wird man vom Gußeisen noch einiges für den Leichtbau erwarten können, und wir finden gerade bei der Dreschmaschine schon heute einige Anwendungsbeispiele, z. B. bei dem Körnerellevator, der Transportschnecke und dem Absackrohr, bei denen die Gehäuseteile aus dünnwandigem, hochwertigem Grauguß und die Führungsteile aus Stahlblech gefertigt sind. Auch bei Grasmähern verwendet man für die Getriebe zum Teil Gußeisen, Ge. 26.91, um die Gewichte zu verringern.

Der allgemeinen Einführung der Leichtbauweise bei Landmaschinen und Geräten sind aber dadurch Grenzen gesetzt, daß gerade der landwirtschaftliche Betrieb eine äußerst rauher Betrieb ist. Aus den verschiedensten Gründen kann die Leichtbauweise nur immer Zug um Zug mit größter Vorsicht und laufender Ueberwachung der Praxis eingeführt werden. Besonders vorsichtig in der Gewichtsverminderung muß man bei den Landmaschinen vorgehen, die durch die Fahrräder vom Boden aus angetrieben werden.

Und trotzdem ist auch hier noch eine Werkstoffeinsparung möglich, indem man für die zur Erreichung des Arbeitszwecks notwendigen Gewichte Scherbeton verwendet, der in Hohlprofile gefüllt und gegen Ausbröckeln geschützt wird. Hierdurch kann man nicht nur Werkstoff sparen, sondern auch das erforderliche Gewicht der Maschinen billiger als mittels Gußeisen oder Stahl erhalten. Praktische Erfahrungen liegen hierüber allerdings bisher noch nicht vor.

Zur Preisfrage für Leichtbaukonstruktionen ist zu vermerken, daß gerade Landmaschinen noch überwie-

gend nach dem Gewicht gekauft werden, wenn man auch einzusehen beginnt, daß leichtzügige Maschinen im Hinblick auf die Zugkräftersparnis von Vorteil sind (Abb. 20).

Zu dieser Frage schreibt ein Landmaschinenfabrikant: „Beachtenswert ist, daß sich Gewicht und Preis zuungunsten des Leichtbaukonstruktors auswirkt, denn er muß, um Material zu sparen, verbesserte Arbeitsmethoden, wie vermehrte Schweißarbeit, Pressen von verschiedenen Stahlblechprofilen, Einbau von Rohren als Verbindungsträger und ähnliches bei erhöhtem Lohnstundenaufwand auf sich nehmen. Daß dieses Verhältnis aber noch tragbar ist, zeigt wiederum der Preis, gemessen an der Leistung. Also ist es richtig, diese Methode einzuschlagen, denn damit ist der Nachweis

geliefert, daß Material gespart wird, ohne daß das Produkt darunter leidet, ich möchte sogar behaupten, es nimmt in seiner Leistungsfähigkeit sehr stark zu.“ Aufgabe aller maßgebenden Stellen muß es sein, hier aufklärend zu wirken und immer wieder darauf hinzuweisen, daß richtig angewendeter Leichtbau nicht Verschlechterung der Konstruktion bedeutet, sondern Erhöhung des Wirkungsgrades der Werkstoffausnutzung in Verbindung mit einer Verbesserung der Leistungsfähigkeit der Maschinen und Geräte.

Die heutige Landmaschinenindustrie hat die Bedeutung des Leichtbaues für die Werkstoffersparnis erkannt und ist bereit, diese Erkenntnis für die Herstellung hochleistungsfähiger, wirtschaftlicher und preisgünstiger Maschinen und Geräte einzusetzen.

Der Leichtbau im Eisen- und Hochbau^{*)}

Von Dipl.-Landwirt W. Bauer, Gebr. Sachsenberg AG., Berlin

Im November 1935 leitete der Verein Deutscher Eisenhüttenleute seine Hauptversammlung und die Feier der 75jährigen Wiederkehr seiner Gründung mit einer Reihe hochinteressanter Vorträge ein. Im Vordergrund der Betrachtung standen allgemein wichtige Fragen des Stahlbaues.

Nur ein einziger Doppelvortrag, gehalten von Kreißig (Urdingen) und Paulssen (Berlin), beleuchtete das Thema: „Grundlagen des Leichtbaues.“ Die Ausführungen der beiden Redner, die auch aufschlußreiches Bildmaterial über statische und konstruktive Fragen mitgebracht hatten, gipfelten in wenigen grundsätzlichen, heute schon dokumentarischen Feststellungen. Ich lasse die Vortragenden selbst sprechen.

Kreißig sagte: „Mit dem Begriff Leichtbau bezeichnen wir eine neue Bautechnik, die uns durch eine sinnvolle Werkstoffverteilung instandsetzt, die im Werkstoff vorhandenen Arbeitsmöglichkeiten bestens auszunutzen.“

Paulssen sagte: „Der volkswirtschaftliche Bedeutung des Leichtbaues wird erst dann in vollem Umfange Rechnung getragen, wenn die damit zusammenhängenden Fragen in gedanklicher Gemeinschaftsarbeit zwischen Rohstoffherzeuger, verarbeitender Industrie und Konstrukteur behandelt werden.“

Sie sehen also, wie klar und unmißverständlich schon damals die Gegebenheiten und die Forderungen ihren Niederschlag fanden. — In den vergangenen drei Jahren ist der Leichtbau aus einem Problem zu einem Begriff geworden. Begriff im engsten Sinne, denn die damaligen Anregungen wurden dank der tatkräftigen Unterstützung des Staates, der sich beispielhaft als Förderer neuzeitlicher Technik erwies, von allen den Stellen auch aufgegriffen, die es anging. Heute danken die Leichtbaukonstruktoren des Stahl- und Hochbaues den Veranstaltern der Leichtbautagung, daß sie ihr Fach in einem Sondervortrag behandeln dürfen.

Gestatten Sie mir jetzt einen ganz kurzen Rückblick auf Entstehung und Werdegang des Leichtbaues:

In der Entwicklung der Leichtbautechnik ist begreiflicherweise der Flugzeugbau bahnbrechend vorausgegangen. Die durch den Leichtbau erreichte Gewichtsverminderung übte einen entscheidenden Einfluß auf die Belastungsmöglichkeit durch Personen bzw. Fracht und Betriebsmittel aus. Ähnlich, wenn auch nicht in gleich hohem Maße, liegen die Verhältnisse im Fahrzeug- und Schiffbau, bei denen

die Tonne Stahlersparnis, also toten Gewichts, eine gleich große Erhöhung der Nutzlast bedeutet. Es ist daher begreiflich, daß die genannten Industriezweige sich schnell der modernen Schweißtechnik zuwandten und die Gewichtersparnisse ausnutzen, die ihnen durch diese in Höhe von 15 bis 25 Prozent des Eigengewichtes zufließen, ohne daß hierdurch nennenswerte Mehrkosten eintraten.

Im Stahlbau wurde die durch die Schweißtechnik gebotene Möglichkeit, leichter zu bauen, anfangs, nach Einführung der ersten Vor-DIN-Norm 4100 von 1929/30 nicht nur mit einem gewissen Mißtrauen aufgenommen, man scheute sich auch, die vorhandenen teuren Einrichtungen für die Herstellung von Nietkonstruktionen stillzulegen und große Anschaffungen für die neue Technik auf sich zu nehmen. Dazu kam der Mangel an geschulten Schweißern, der trotz aller Anstrengungen auch heute noch nicht behoben ist, fehlende Erfahrungen und damit die Sorge in bezug auf selbstverständlich zu übernehmende Garantieverpflichtungen.

Inzwischen hat sich das Bild insofern geändert, als die Notwendigkeit plan- und zweckvollen Einsatzes deutscher Werkstoffe zur verstärkten Anwendung der Schweißtechnik führte. Die Frage der Sicherheit geschweißter Stahlbauten ist durch gesammelte Erfahrungen und geeignete Prüfmethode der fertiggeschweißten Konstruktionen in positivem Sinne entschieden worden.

Zeiten der Not — oder sagen wir besser der Selbstbesinnung — haben das Gute an sich, neue geistige Kräfte auszulösen, die aus der Not eine Tugend machen. Viele neue Bau- und Werkstoffe entstanden, die auch die Bautechnik stark beeinflussten, die wir heute als Leichtbau bezeichnen.

Die Aufgaben für den Stahlkonstrukteur sind klar umrissen: Er muß und wird den kostbaren Stahl weitgehend einsparen, von dem der Leiter des Vierjahresplanes mit Recht gesagt hat, daß er wertvoller sei als Gold. Wenn selbst das Eisen der Einfriedungen in öffentlichen Anlagen und an den Straßen abgebaut wird, um wichtigeren Zwecken zugeführt zu werden, so ist es dem Einsichtigen klar, daß jedes Kilo Eisen oder Stahl, welches zu ersparen möglich ist, auch erspart werden muß.

Der Stahlbaukonstrukteur kann aber seine Aufgabe nur erfüllen, wenn seine konstruktiven Anregungen im

*) Die Abbildungen wurden vom Verfasser zur Verfügung gestellt.

Sinn des Leichtbaues auch gehört werden und in der Erleichterung der Vorschriften ihren Niederschlag finden. Es ist z. B. nicht zweckmäßig, für leichte Werkstattbetriebe eine Verkehrslast von 500 kg/qm, für schwere Werkstattbetriebe 1000 kg/qm und mehr a l l g e m e i n vorzuschreiben und damit die Decke, die Deckenträger, Stützen und Fundamente zu bemessen. Es ist in einem mittleren Maschinenbaubetrieb nur gerechtfertigt, mit einer Verkehrslast von z. B. 1000 kg/qm die Deckenträger zu berechnen. Für die Decke genügen 500 kg/qm, wenn die Maschinen unmittelbar auf die Deckenträger gelagert werden, ohne die Decke selbst zu belasten. Bei der Maschinenaufstellung und dem Transport der Maschinen hilft man sich beispielsweise mit untergelegten Holzbalken.

Für die Unterzüge, die in verhältnismäßig großen Abständen liegen, genügt eine Verkehrslast von 500 kg/qm, denn es kommt fast nie vor, daß ein Deckenfeld von z. B. $5 \times 6 \text{ m} = 30 \text{ qm}$ durch Maschinen mit $30 \times 1000 = 30\,000 \text{ kg}$ belastet ist. Selbst die Belastung eines solchen Unterzuges mit $30 \times 500 = 15\,000 \text{ kg}$ dürfte nur selten vorkommen. Bisher sahen die Vorschriften nur bei Hochbauten eine etagenweise Abminderung der Belastung für die Stützen vor. Man sollte diese Abminderung auch auf Unterzüge und Stützen von Hoch- und Industriebauten ausdehnen!

Ein weiterer Weg in vorgenanntem Sinne: Durch Versuche wurde festgestellt, daß sich die bei den nackten Trägern gemessene Durchbiegung infolge der Verbundwirkung zwischen Decke und Deckenträgern um bis zu 70% verminderte, mit anderen Worten, daß infolge dieser Verbundwirkung die Beanspruchung der Deckenträger nur zirka 30% der berechneten war.

Man sollte auch in dieser Richtung weitere Versuche durchführen, um beträchtlich an Baustahl zu sparen. Außerdem sollten die Vorschriften für die rechnerisch zulässige Durchbiegung $= 1/500$ der Stützweite gemildert werden, weil die Deckenkonstruktion im fertigen Zustand — wie gesagt — eine ganz erheblich geringere Durchbiegung als die rechnerisch ermittelte aufweist.

In einem besonderen Falle wurde durch einen Belastungsversuch beim nackten Trägergerippe eine Durchbiegung von 75 mm festgestellt, während nach Einbringung der Decke ein weiterer Versuch eine Durchbiegung von nur — 12 mm, also $1/6$ ergab! Der Erfolg im Sinne des Leichtbaues ist augenfällig und bedeutend. Ich habe diese Anregungen absichtlich an den Anfang meiner Ausführungen gestellt, um zu zeigen, wie man durch sachdienliche Änderung der Vorschriften leichter bauen kann.

Ich zeige nun einige sinnfällige Beispiele des Leichtbaues im Stahl- und Hochbau.

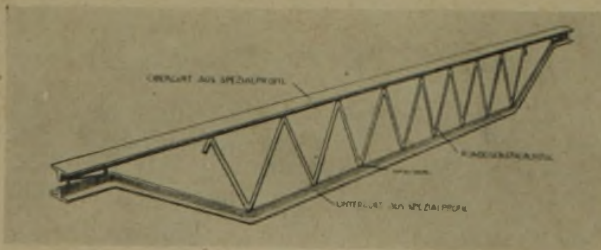


Abb. 1: Leichtbauträger für Deckenträger in Hochbauten oder Leichtfachwerkträger

Interessant für den Stahlkonstrukteur ist die in Amerika weitverbreitete Leichtbaukonstruktion der Truscon Steel Company (Abb. 1), deren Gurtprofile aus Halb-

T-Eisen und deren Füllstäbe aus einem schlangenförmig gebogenen Rundeisen bestehen, das an den Spitzen mit den Gurten leicht verschweißt ist. Dem geringen Gewicht dieser Träger steht allerdings eine viel größere Bauhöhe als bei den in unserem Hochbau verwendeten Walzträgern gegenüber. Sie könnten daher in Deutschland weniger als Deckenträger, wohl aber als weitgespannte Pfetten von Vorteil sein, wie sie außer in Amerika auch in Frankreich, Belgien und anderen Ländern verwendet werden.

Stahleinsparungen lassen sich aber nicht nur durch geeignete Leichtkonstruktionen erreichen, sondern auch durch Verwendung von Leichtbaustoffen und Leichtbauwänden. Sehr unwirtschaftlich in bezug auf den Stahlbedarf sind z. B. die bei uns heute vielfach noch ausgeführten Stahlfachwerkwände bei Industriebauten. Sie brauchen etwa 10 bis 20 kg/qm an Stahl und bieten dabei nur einen geringen Wärme- und Wetterschutz.

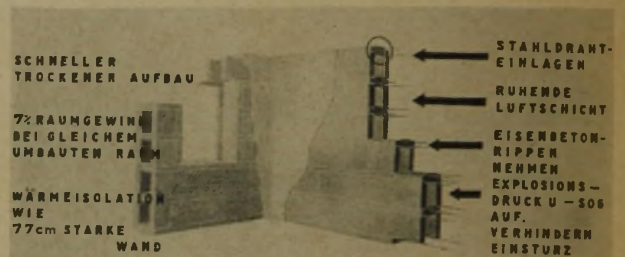


Abb. 2: OLA-Luftzellenwand aus Leichtbetonplatten, 25 cm Gesamtdicke

Die Luftzellenwand aus inneren und äußeren Bimsbeton- oder Schlackenbetonplatten mit Querstreben und dadurch erzielten abgeschlossenen Luftzellen (Abb. 2) kann von Stütze zu Stütze in bezug auf die Windbelastung als freitragend angesehen werden und benötigt nur eine leichte Stahlarmierung von etwa 2 kg/qm. Die Stahlersparnis beträgt demnach gegen-

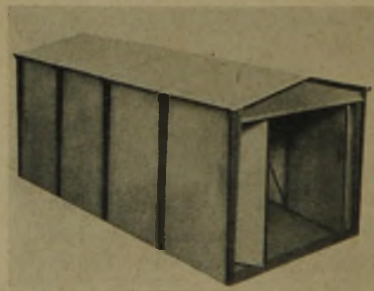


Abb. 3: Leichtbaukraftwagenhalle, System Marlin, mit Stahlkonstruktion aus gepreßten Stahlblechen. Bekleidung: Kunststeinplatten, Bimsbeton oder dergleichen

über dem erwähnten Eisenschwergewicht 8 bis 18 kg/qm. Die Wand ist infolge ihrer Armierung auch in lotrechter Richtung freitragend und benötigt daher auch keine Stützträger. Sie bietet einen großen Wärmeschutz, der einer zirka 64 cm starken Ziegelmauer entspricht.

Ein Beispiel der Eisenersparnis aus dem Kleinstahlbau: Eine Wellblechgarage von $5 \times 2\frac{1}{2} \text{ m}$ Grundfläche benötigt etwa 600 kg Eisen und erfüllt in ästhetischer Beziehung keineswegs die Forderung, die man mit vollem Recht an eine neuzeitliche Garage stellt. Bei der Leichtbaukraftwagenhalle (Abb. 3) werden Wand und Dach aus Leichtbauplatten zwischen Dreigelenkrahmen aus gepreßten Blechleichtprofilen ausgeführt. Der Stahlverbrauch ist 120 kg, bedeutet also gegenüber der Wellblechgarage eine Ersparnis von 480 kg $= 80\%$, ganz abgesehen von der durch planvolle Konstruktion und Materialauswahl erreichten schönen Ausdrucksform.

Diese wenigen Beispiele zeigen bereits, daß die voraussetzungslose Betrachtung aller Bauaufgaben zu wesentlichen Ersparnissen von Material führt, das die

Reichsstelle für Wirtschaftsausbau heute anderen wichtigeren Aufgaben zuführen will! Eine durchgreifende Umstellung der Bauingenieure würde, wie schon die wenigen Beispiele erkennen lassen, von einschneidender Bedeutung sein.

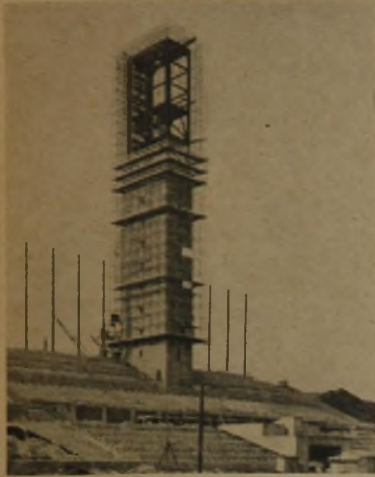


Abb. 4: Tribünenturm mit Stahlrohrgerüst

Ein anderes Beispiel für Leichtbau: Stahlrohrrüstungen für Hochbauten und Tribünen! Das Stahlrohrgerüst verbindet mit einem sehr geringen Gewicht den Vorteil des schnellen Auf- und Abbaues (Abb. 4). Stahlrohrtribünen (Abb. 5) haben sich gut bewährt.

Vorteil: leichte Montage, Transportabilität, Dauerverwendbarkeit und Einsparung des wichtigen Baustoffes Holz.

Ein weiteres Beispiel des Leichtbaues im Großbehälterbau bringt eine Materialersparnis von etwa 20 bis 40%. Bei einem vier- oder mehreckigen Behälter von beispielsweise 50×50 m Grundfläche und



Abb. 5: Torkret-Leichtkonstruktion aus Stahlrohren für die Tribüne Eisstadion Düsseldorf

9 m Höhe erfordern die Wände, wenn sie eben sind, eine nach unten beträchtlich zunehmende Dicke der Bleche bis zu etwa 14 mm, und — wenn der Boden frei trägt — auch für den Boden. Außerdem werden umfangreiche horizontale und vertikale Aussteifungen der ebenen Bleche notwendig.

Der Leichtbau-Großbehälter benutzt für Wände und Boden Tonnenbleche (Abb. 6), welche den Flüssigkeitsdruck aufnehmen. Die Horizontalschübe der Tonnenbleche gleichen sich aus bis auf die Behälterecken, wo sie von ebenen ausgesteiften Blechwänden aufgenommen werden. Für die Tonnenbleche genügt von oben bis unten eine Dicke von 5 bis 6 mm, desgleichen für den Boden. Die Materialersparnis beträgt bei diesen Behältern je nach ihrer Größe und Höhe 20 bis 40%, die Ausführung und die Montage wird vereinfacht! Die Tonnenbleche werden ohne jede Bearbeitung in ganzer Länge bzw. Höhe und einer Breite von 2 bis 3,50 m vom Walzwerk direkt zur Baustelle versandt und dort mit den vertikalen Aussteifungen, welche gleichzeitig die Blechwand als Innengurt be-

nutzen, verschweißt. Blechstöße sind vollständig vermieden. — In derselben Weise können auch Silos und große Hubtore für Wehranlagen, Schleusen-

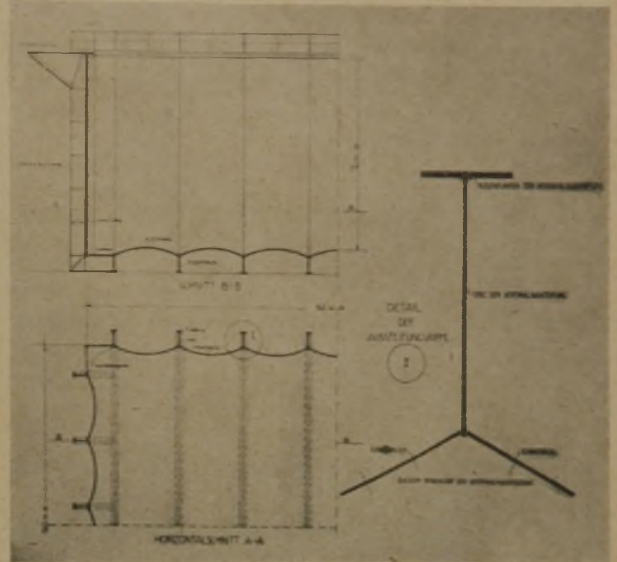


Abb. 6: Leichtbau-Flüssigkeitsbehälter, System OLA, mit Tonnenblechen für Wänden und Boden

ture und ähnliche Konstruktionen materialersparend ausgeführt werden.

Die bisher gegebenen Hinweise und Beispiele betreffen noch nicht den eigentlichen „Leichtbau“, sondern sind Anregungen, um leichter und mit entsprechender Baustahlersparnis zu bauen. Dem Leichtbau für Großhallen sind durch die Anregungen von Oberregierungsbaurat Dr. Mehmel vollkommen neue Wege eröffnet worden, neue Leichtbauweisen entstanden. Dr. M. sagt in seinen Aufsätzen („Zentralblatt der Bauverwaltung“ 1937, Nr. 9, und „Der Stahlbau“ 1938, Nr. 1) u. a., daß bei den immer größer werdenden Spannweiten, z. B. bei Großflugzeughallen, das Eigengewicht von Dachhaut und Konstruktion im Vergleich zu den hinzutretenden Verkehrslasten (Schnee und Wind) eine ausschlaggebende Rolle spielt. Die Verminderung des Gewichtes der Dacheindeckung und die Erreichung des geringstmöglichen Eigengewichtes der Tragkonstruktion sind demnach die anzustrebenden Ziele.

Es wurden von Hünnebeck Hallenkonstruktionen (Abb. 7) entwickelt, bei denen die Dachhaut als Tragwerk ausgebildet wurde, so daß sie zugleich



Abb. 7: Hallenkonstruktion, System Hünnebeck

die raumschließenden und statischen Aufgaben erfüllt. Das Wesen dieser Bauweise besteht darin, daß Hohlkörper gebildet werden, deren Oberfläche aus 2½ bis 6 mm starken, gekanteten Stahlblechen bestehen, die zugleich die Dachhaut bilden. Die Bleche werden in Tafeln von 1,50 Meter Breite bis 10 m Länge auf die Baustelle gebracht und dort durch Stumpfschweißung oder überlappte Verschraubung wasserdicht verbunden. Das Gewicht z. B. einer 72 m freigespannten Halle ist nach Professor Gehler und auf Grund erfolgter Ausführung nach den Angaben des Konstrukteurs 83 kg/qm und bei 85 m Spannweite 86 kg/qm Hallengrundfläche einschließlich Dachhaut. Die Hünnebecksche Konstruktion stellt einen interessanten und wertvollen Beitrag zur Entwicklung im Großhallenleichtbau dar.

Auf demselben Weg, jedoch mit im Längsschnitt bogenförmig gestalteten Wellen, hat Dörnen (Derne) die Lösung versucht. Dörnen schlug auch (nach „Bauingenieur“ 1938 Nr. 33/4) eine Hallenkonstruktion

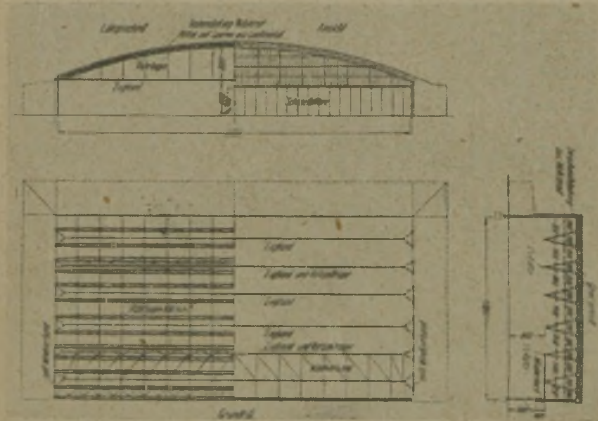


Abb. 8: Leichtbau-Rohrbogenhalle, System Dörnen

(Abb. 8) aus zylindrischen Rohren als Zweigelenkbogen mit Zugstange vor, der er ein besonders geringes Stahlgewicht zuschreibt. Als Eindeckung verwendet er nicht mehr gewelltes, sondern Flachblech. Die von Dörnen vorgeschlagene Konstruktion ergibt nach obiger Literaturquelle gegenüber der starkgewellten Dachhaut eine weitere Gewichtsverminderung im Großhallenbau.

Noch weiter geht Martin in seiner Leichtbau-Konstruktion, bei der die Binder nicht aus zylindrischen Rohren, sondern als Dreigelenkbogen aus elliptischen Rohren aus St. 52 gebildet sind (Abb. 9). Diese ellip-

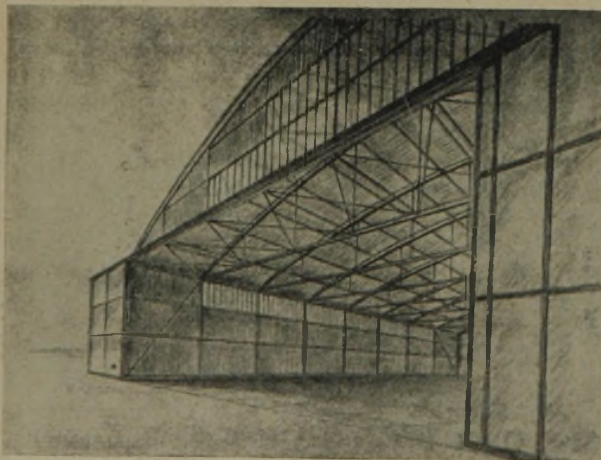


Abb. 9: Hallenleichtbauweise, System Martin

tischen Rohre sind in der Richtung der Spannweite als Körper gleicher Festigkeit ausgebildet, indem das Rohr an den Auflagern und im Scheitel den kleinsten, in den Viertelpunkten, wo das größte Biege-

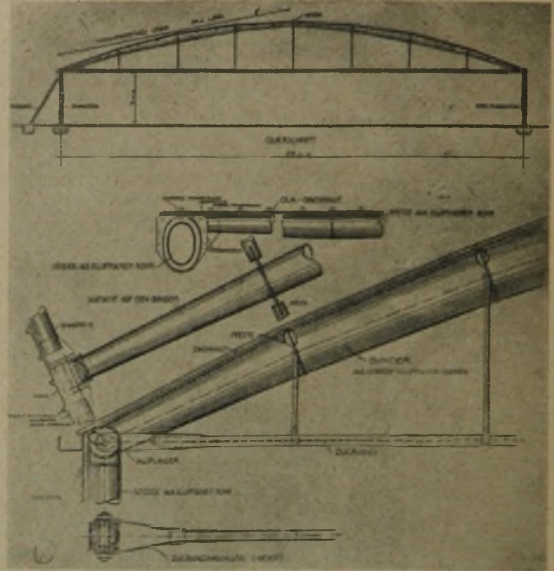


Abb. 10: Konstruktion, Detail der Hallenleichtbauweise Martin

momer, bei einseitiger Belastung auftritt, seinen größten Querschnitt hat (Abb. 10). Da die Binderhälften selbst bei Hallenspannweiten bis etwa 60 m

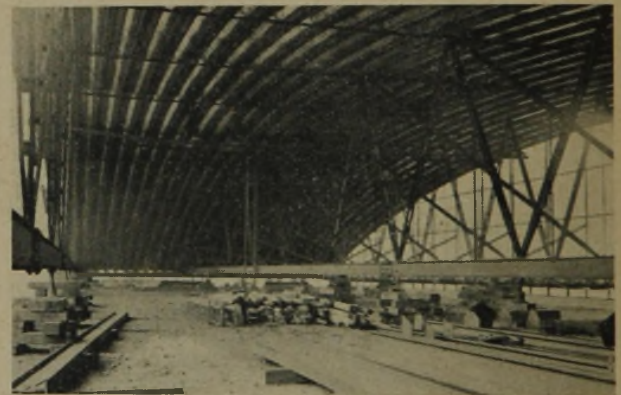


Abb. 11: Hallenleichtbaukonstruktion, System Krupp

das Ladeprofil nicht überschreiten, können diese Binderhälften fertig geschweißt angeliefert und montiert werden. Pfetten und Stützen haben gleichartigen

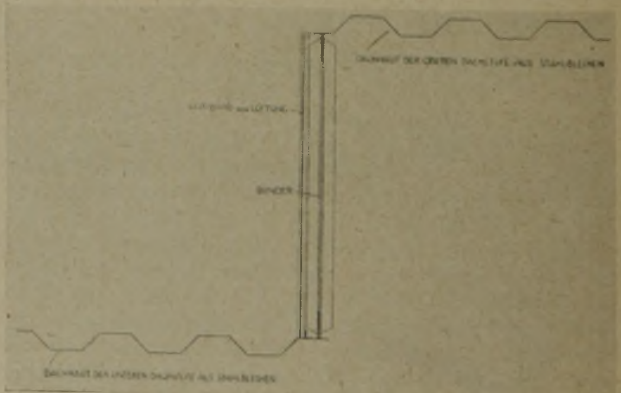


Abb. 12: Leichtbauhalle, System Krupp, mit Stahlblechdachhaut

elliptischen Querschnitt wie die Bogenbinder. Die Eindeckung der Martinhalle bedingt keine dickwandige Stahlhaut, und sie erfolgt in der Regel mit Doppelplattenblechen oder doppellagigen, gut isolierenden Hartholzfaserplatten. Das errechnete Konstruktionsgewicht beträgt z. B. bei 60 m Spannweite 35 kg/qm Hallengrundfläche.

Gegenüber Hünnebeck, bei dem die gesamte gekantete Dachhaut Haupttragglied ist, bauen Krupp (Abb. 11) und Seibert ihre Großhallen mit Parabelbindern, deren Obergurt von einem Streifen der

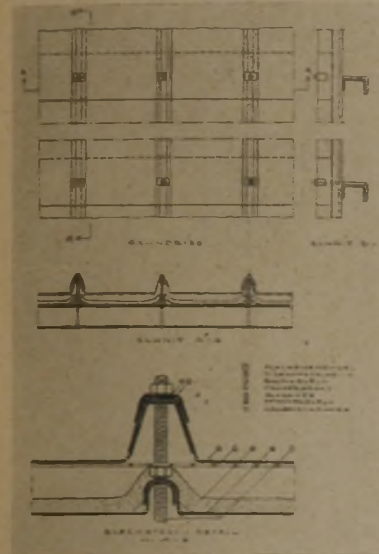


Abb. 13: OLA-Dacheindeckung mit Panzerdraht

Stahlblech-Dachhaut gebildet wird, deren Zugband und Füllstäbe in üblicher Art aus Profilstäben bestehen. Auch diese Hallen bedingen — als Werkhallen verwendet — eine zweite Eindeckung als Temperaturschutz.

Bei einem weiteren Vorschlag von Krupp (österreichisches Patent) liegt die Stahlblechdachhaut in jedem zweiten Binderfeld oben, im ersten, dritten, fünften usw. unten (Abb. 12). Demnach werden als Binderobergurt

und -untergurt Streifen dieser Stahlhautflächen herangezogen. Die sich ergebenden vertikalen Dachflächen vor den Bindern können als Lichtband oder Lüftungsflächen benutzt werden.

Es zeichnen sich demnach zwei Gruppen von Leichtbaukonstruktionen deutlich voneinander ab: erstens diejenigen, bei denen die Dachhaut ganz oder teilweise Tragkonstruktion ist, zweitens diejenigen, bei denen die Dachhaut gleichzeitig Schutz gegen leichte Geschosse und Wärmeschutz bildet und deren Konstruktion ohne Heranziehung der Dachhaut ein Leichtbausystem darstellt. Zu der zweiten Gruppe ist auch die Netzelle (Abb. 13) zu rechnen, welche als Dachhaut in der Regel die sehr leichten Mannesmann-Doppelplattenbleche mit einer Einlage aus isolierenden Stoffen (Glaswolle) und — gegen Geschosswirkungen — ein geschweißtes Panzerdrahtgeflecht benutzt. Das Eigengewicht dieser Dachhaut ist 25 kg/qm.

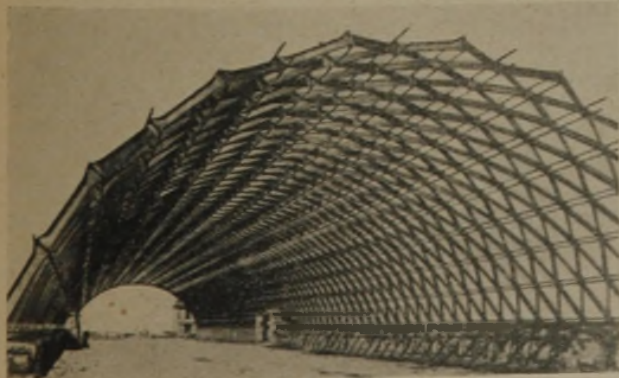


Abb. 14: Junkers-Halle

Paulssen baute schon 1925 Hallen in Kleinasien aus leicht transportierbaren Bauelementen (Abb. 14). Er ließ damals die Bauteile seiner Hallenkonstruktion von Lasttieren etwa 200 km ins Land hinein bis zur Baustelle transportieren und baute etwa 18 000 qm der damals völlig neuartigen Hallen-Leichtkonstruktion (Abb. 15). Seine Profile waren geprefte Blechlamellenprofile.

Das neue Netzellen-Leichtbau-System für Hallenkonstruktionen besteht aus einem zickzackförmigen Binderscheibenzug, dessen Scheiben entweder einfache Balken (bei Satteldächern) oder, paarweise mit einem Zugband versehen, als Zwei- oder Dreigelenkbogen ausgebildet sind (Bogendächer von 60 bis 120 Meter Spannweite.) Die Binderscheiben sind gegeneinander unter etwa 45° geneigt und er-



Abb. 15: Transport-Junkers-Halle

halten von den Pfettenlasten P nur je $0,707 P$ als Belastung. Sie werden in der Werkstatt in Längen, wie sie der Transport zuläßt, fertig geschweißt und an den Gurttroststellen sowie untereinander nur mittels Schrauben verbunden. Ihre Bauhöhe überschreitet selbst bei sehr großen Spannweiten das zulässige Lademaß nicht.

Mit dieser Leichtbaukonstruktion wird demnach, abgesehen von ihrem geringen Gewicht und Materialverbrauch, eine



Abb. 16: Binderscheibenpaar einer OLA-Leichtbauhalle mit Satteldach

schnelle, einfache und billige Montage erreicht. Nach dem Zusammenbau von z. B. vier Binderscheiben am Boden und fertiger Eindeckung derselben wird die gesamte Konstruktion durch Masten und Winden auf die Stützen gehoben. Wie beim

System Martin ist die Größe der Dachfläche und ihre Abwicklungsfläche wegen der ebenen Dacheindeckung geringer als bei den Konstruktionen mit mehr oder weniger stark ausgeprägter Wellenform des Daches. Abb. 16 zeigt ein montagefertiges Binderscheibenpaar einer solchen OLA-Leichtbauhalle mit Satteldach von 40 m Stützweite, Abb. 17 eine in der Ausführung begriffene OLA-Bogenhalle von

85 m Stützweite und 42 m Tiefe mit querverlaufenden Kranen an beiden Hallengiebeln.

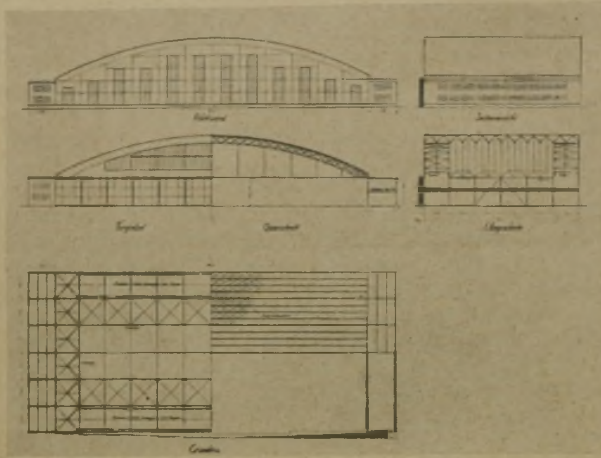


Abb. 17: OLA-Leichtbauhalle mit seitlichen Anbauten; oben links: Rückwand, rechts: Seilenansicht, Mitte links: Torgiebel und Querschnitt, rechts: Längsschnitt, unten: Grundriß

Auch diese Leichtbaukonstruktion ist bei allen Vorteilen, die sie bietet, noch nicht das letzte Wort auf dem Gebiet des Leichthallenbaues.

Der Leichtbau im Hochbau hat längst nicht mehr nur die Aufgabe, durch Gewichtsverminderung materialsparend zu wirken, er ist berufen, einen vollkommen neuen Baustil zu schaffen.

Und dieser Stil wird, wenn er erst von allen Schlacken befreit ist, ebenso klar in Form und Linie, ebenso kraftvoll und technisch schön sein, wie seine Vorbilder bei anderen Konstruktionen, die der Welt ein Beispiel ungebrochenen deutschen Erfindergeistes und technischer Vollkommenheit geben, wie das den Atlantik überwindende Großflugzeug, der in Stromlinienform gebaute Leichttriebswagen und unser neuer Volkswagen.

Alle diese Schöpfungen sind gereift durch die Erkenntnis, daß planvoller Einsatz der Werkstoffe und richtige Leichtbaukonstruktion zum Erfolg führen müssen. Helfen wir alle mit, den Leichtbaugedanken, jeder in seinem Fach, zu fördern und ihm den ihm gebührenden Platz in der deutschen Technik zu sichern.

Der Leichtbau im Maschinenbau

Werkfotos: Diskuswerke

Von Obering. C. Keller, Diskuswerke A.-G., Frankfurt a. M.

Wohl auf keinem anderen Gebiete dürften die Ansichten der Fachleute über den Vorteil des Leichtbaues so auseinandergehen wie auf dem des Werkzeugmaschinenbaues. Der Leichtbau im Werkzeugmaschinenbau bricht in der krasssten Weise mit der alten Anschauung, daß, je schwerer bei sonst guter und fortschrittlicher Konstruktion eine Maschine, desto besser sie auch sein müsse. Wer von uns hat nicht bei der Entscheidung für eine Maschine letzten Endes bei der Wahl das höhere Gewicht bevorzugt, weil man der Ansicht war, bei der schweren Ausführung bekommt man die gegenüber den Anstrengungen und Formänderungen widerstandsfähigere Maschine? Wer hat nicht beim Ankauf einer Werkzeugmaschine letzten Endes sich davon leiten lassen, daß er für sein Geld ein möglichst großes Maschinengewicht bekommen hat?

Ich will auf die Hintergründe dieser Auffassung kurz eingehen.

Man hat nun schon lange versucht, bei Einzelteilen der Maschine das schwere Eisengewicht durch Leichtmetallteile zu ersetzen, z. B. sind mit Erfolg Griffe und Hebel, Handräder und Schutzhauben sowie sonstige Verkleidungen, Deckel, Firmenschilder usw., aus Leichtmetall gefertigt worden. Die Eisensparnis, bezogen auf die ganze Maschine, ist dabei gering.

Der hauptsächlichste Werkstoff der Maschine war bislang das Gußeisen. Die einfachen und oft schwierigen vorkommenden Formen wurden durch das Gießverfahren erhalten. Da an Gußeisen kein Mangel war, wurde es in einem Maße verwendet, das oft weit über die Erfordernisse hinausging, welche die Aufnahme der Kräfte als notwendig erscheinen läßt.

Dieser Mehraufwand an Gußeisen ist aber oft nur bedingt durch den gußtechnischen Vorgang und die Rücksicht auf die Formmöglichkeit.

Hinzu kam die alte Anschauung, daß dem Gußeisen eine höhere Dämpfungsfähigkeit eigen sei als dem Werkstoff Stahl. Die Ergebnisse von Versuchen an einfachen Probestäben aus Gußeisen bezüglich seiner Eigendämpfung wurden verallgemeinert, auf die ganze

Maschine übertragen, und so bekam das Gußeisen den Ruf, für eine Maschine der überhaupt geeignetste Werkstoff zu sein.

Wir werden sehen, daß im Leichtbau hergestellte Maschinen Schwingungen besser abdämpfen als es bei Gußeisen möglich ist.

In langen Jahren konstruktiver Entwicklung wurden die Maschinen am meisten durch die Frage: Wie kürzt man die Arbeitszeit? beeinflusst.

Nun tritt aber eine neue Forderung in den Vordergrund; sie lautet: Wie kann man an Werkstoff einsparen? — Wir werden sehen, wie die Lösung dieser Forderung, der Leichtbau, seine Bedeutung nicht nur durch den wesentlich geringeren Werkstoffaufwand erhält, sondern wie in dieser Konstruktionsweise neue und wichtige technische Vorteile gewonnen werden. Es mag sogar sein, daß diese im Maschinenbau erst angeregte Entwicklung diese Vorteile einst als wichtiger anerkennen wird, als die schon erreichte Ersparnis an Werkstoff es an sich schon ist.

Wie kann man nun an Werkstoff sparen, ohne an den Grundprinzipien der Konstruktion einer Maschine zu rütteln?

Will man die neuen Forderungen, Werkstoff einzusparen erfüllen, so heißt dies, sich vom Gußeisen abzuwenden und an seiner Stelle den Stahl zu nehmen, der hinsichtlich der Festigkeit und Widerstandsfähigkeit gegen Formänderung dem Gußeisen überlegen ist.

Dies ist aber erst möglich, seitdem die Fortschritte der Schweißtechnik es zuließen, die leichte Formbarkeit durch Gießverfahren auch bei der Anwendung des Schweißens zu ermöglichen. Die neu entstandene Bauweise ist durch Stahlbau der Leichtbau. Mit Hilfe der Schweißung wird Walzstahl in seinen verschiedenen Erscheinungsformen in Blechen, Platten, Stäben und Profilen verwendet, wie das die späteren Abbildungen zeigen werden. — Da nun jedes Herstellungsverfahren seine eigene Technik,

also seine eigenen Gesetze hat, darf man nicht beim Schweißverfahren dem Leichtbau Formen zumuten, die der Gußeisentechnik eigen sind.

Die Kürze der Zeit verbietet es, auf die Schweißtechnik und das Schneidbrennen als Hilfsttechnik einzugehen; sie sind als bekannt vorauszusetzen.

Der Leichtbau, also die Herstellung der Maschinenständer und -teile in Stahl, erspart Werkstoff, nicht nur infolge seiner überlegenen Festigkeitseigenschaften, sondern vor allen Dingen durch seine Widerstandsfähigkeit gegen Formänderungen. Beim Leichtbau werden an keiner Stelle mehr Werkstoff eingebaut, keine größeren Wandstärken verwendet, als es für die Sicherheit gegen Bruch oder Widerstandsfähigkeit gegen Formänderung unbedingt notwendig ist.

Da in einer Werkzeugmaschine reine Beanspruchungen auf Zug, Druck, Biegung oder Verdrehung selten sind, vielmehr vorzugsweise die Beanspruchungen gemischt auftreten, von denen wieder die Beanspruchungen auf Biegung und Verdrehung die häufigsten sind, müssen wir widerstandsfähigste Querschnitte gegen Formänderungen anwenden. Damit kommen wir zu kastenförmigen oder hohlen Trägern, an denen wir den Werkstoff überall da wegnehmen, wo er unnütz ist. Sie sind am besten geeignet, gerade diese Kräfte aufzunehmen und zu übertragen. Neben der Bruchfestigkeit des Werkstoffes ist es vor allem die Widerstandsfähigkeit gegen Formänderung dieser Querschnittsformen, also die Starrheit dieser Bauteile und aus ihnen im Zusammenbau die Starrheit der ganzen Maschine. Dies ist die erste wichtige Forderung.

Wir werden später sehen, wie gerade in der Leichtbauweise die Forderung nach Starrheit durch die Querschnittsformen der Aufbauteile am besten erfüllt wird.

Hinzu kommt, daß bei der Maschine mit ihren während der Arbeit schwankenden Belastungen zudem der Gesamtbau erschütterungsfrei, also frei von Schwingungen, schwingungsstarr sich verhalten muß.

Damit sind wir bei der zweiten Forderung, der Schwingungsstarrheit.

Betrachten wir nun die bei den beiden Bauformen hauptsächlich vorkommenden Querschnittsformen unter dem Gesichtswinkel der Starrheit.

Bei der gußeisernen Maschine finden wir am häufigsten die Verwendung der in Abb. 1 links gezeigten

offenen Querschnittsformen, während wir rechts beim Leichtbau die günstigen geschlossenen

Querschnittsformen sehen. Aus ihnen setzt sich das im Leichtbau gefertigte Gestellteil und die Maschine zusammen. Spätere Abbildungen werden die Anwendung in ganzen Gestellteilen und Maschinen zeigen.

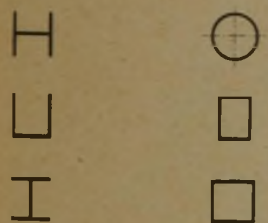


Abb. 1: Querschnittsformen bei Gußeisen- und Stahlbau

Wie verhalten sich nun diese verschiedenen Querschnittsformen bei Biege- und Verdrehungsbeanspruchung?

In Abb. 2 sieht man deutlich, daß bei gleichen Gewichtsverhältnissen der Doppel-T-Träger die größte Widerstandsfähigkeit gegen Biegung hat, während das Rohr sich ungünstiger verhält. Der rohrförmige Querschnitt hingegen besitzt die größte Widerstands-

fähigkeit gegen Verdrehung, während der Doppel-T-Träger hingegen nur etwa $\frac{1}{10}$ dieser Beanspruchung aushält. Der Kastenquerschnitt liegt in seinen Werten etwa in der Mitte der beiden anderen.

Querschnittsform	Gewicht kg/m	Ertragbares Biegemoment cmkg	Ertragbares Drehmoment cmkg
Rohr	22	58·6zul.	116·Tzul.
Kastenquerschnitt	22	67·6zul.	113·Tzul.
Doppel T-Träger	22	90·6zul.	10·Tzul.

Abb. 2: Biege- und Drehfestigkeit verschiedener Querschnittsformen

Der Grund für die Unterschiede ist in der jeweiligen ungleichförmigen Spannungsverteilung und damit verbunden in der ungleichmäßigen Ausnützung des Werkstoffes zu suchen. Vergleicht man nun die Zahlenwerte, so ergibt sich von selbst, daß wir bei Benützen der geschlossenen Form mit den Wandstärken weit heruntergehen können und doch noch überlegene Widerstandsfähigkeit erhalten. Bei erheblich geringerem Werkstoffverbrauch, also mit einer leichteren und im Werkstoffaufwand auch billigeren Maschine, erreichen wir nicht nur die gleiche Wirkung, sondern eine größere Starrheit. Mit geringstem Werkstoffaufwand ist also beim Leichtbau die erste der Forderungen erfüllt.

Wie verhält sich nun der Leichtbau bei Maschinen gegen dynamische Beanspruchungen? Diese spielen besonders bei den heute vorzugsweise angewendeten höheren Geschwindigkeiten und Drehzahlen eine große Rolle. Die Schwingungen oder Verformungen, die durch Erreger, wie Zahnräder, Motoren oder sich drehende Wellen oder Werkzeuge hervorgerufen werden, sind am größten, haben also die größten Amplituden, wenn die Eigenfrequenz des schwingenden Maschinenteiles gleich ist mit der Frequenz der erregenden Kraft. Die dynamische Starrheit wächst aber mit der Höherlegung der Frequenzen, und auch der Dämpfungswiderstand nimmt zu. Nun wird aber die dynamische Starrheit nicht dadurch gefördert, daß man die Masse, also den Werkstoff, steigert oder anhäuft, sondern indem man die Schwingungszahl oder die Frequenz hochlegt. Gerade dies aber läßt sich beim Leichtbau dadurch erreichen, daß man die Freilänge der schwingenden Körper auf das geringst notwendige Maß beschränkt und so gedrungen wie möglich konstruiert und baut. Unter Gedrungenheit verstehen wir, daß wir die Längenerstreckung eines Bauteiles im Verhältnis zu seiner Quererstreckung kürzen. Ferner werden wir den Werkstoff in den am meisten beanspruchten Randzonen unterzubringen suchen, d. h. wir verwenden kastenförmige Hohlträger, welche vielfach durch Wände unterteilt sind. Dadurch entsteht eine Art von Zellen, deren Form und Anordnung jeweils von den einzelnen Konstruktionsbedingungen abhängt.

Die Eigendämpfungen des Werkstoffes spielen dabei keine Rolle. Ich komme nun auf das anfangs Gesagte: Vom Gußeisen glaubte man auf Grund von Versuchen an Probestäben, daß es schon wegen der Eigen-

dämpfung ein idealer Baustoff sei. Es sind aber diese Verformungsvorgänge im Werkstoff selbst so klein, daß sie als wirksame Dämpfung überhaupt nicht in Betracht kommen.

Im Auftrag einer Anzahl von Werkzeugmaschinenfabriken hat nun seit mehr als 5 Jahren das Versuchsfeld für Betriebswissenschaft und Werkzeugmaschinen der Technischen Hochschule Berlin Versuche an Maschinenbetten, die im Leichtbau hergestellt wurden, auch hinsichtlich der Widerstandsfähigkeit gegen Schwingungen vorgenommen. Es hat sich ergeben, daß Stahlbaumaschinen sich schwingungstechnisch besser als Gußeisenmaschinen verhalten. Die Schwingungsstarrheit ist wesentlich höher, die Schwingungsweiten oder Amplituden sind kleiner, während die Frequenzen und die Dämpfungen größer sind.

Die wissenschaftliche Forschung mußte also feststellen, daß Stahl- oder Leichtbaumaschinen, richtig konstruiert und gebaut, Schwingungen besser abdämpfen als die bisherigen Gußeisenmaschinen.

Die zweite Forderung nach größter Schwingungsfestigkeit wird also gerade durch den Leichtbau erfüllt.

Einige Abbildungen von Einzelteilen und ganzen Maschinenkörpern, an denen der Leichtbau, seine Konstruktion und Aufbauweise ersichtlich ist, mögen diese Darlegungen erläutern.

An dem Spindelstock einer Schleifmaschine (Abb. 3) sieht man, wie der Gesamtkörper durch mehrere Zellen gebildet wird. Der äußere Mantel des Spindelstockes

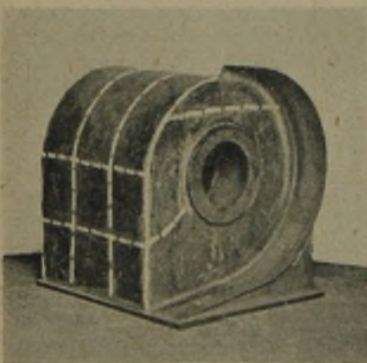


Abb. 3: Spindelstock mit Zellenanordnung

besteht aus einem gebogenen Stück Blech von nur 3 mm Stärke, der mit den die Vor- und Rückwand bildenden Blechen sowie dem Rahmenflansch verschweißt ist. Der letztere dient später als Aufschraubfläche des Spindelstockes auf dem Maschinenständer. Die hellen Linien zeigen den Verlauf der mittels Lichtbogenschweißung verbundenen

Zellwände. Diese bestehen ebenfalls aus 3 mm starken Teilblechen, die mit der Stanze oder Schere in möglichst großer Anzahl und gleicher Größe zugeschnitten werden.

In kurzer Zeit lassen sich aus diesen Einzelblechen die Gestellteile aufbauen. — Die Bohrung dient zur Aufnahme der Lagerung und führt als Wellenkanal

durch den ganzen Körper. Außen aufgeschweißt ist ein Rinflansch. Er trägt später die Lagerbüchse. Ein Rohr von 3 mm Stärke ist mit den Zellwänden verschweißt und verschleißt so das ganze System.

Abb. 4 zeigt zwei Maschinenständer und läßt auch hier

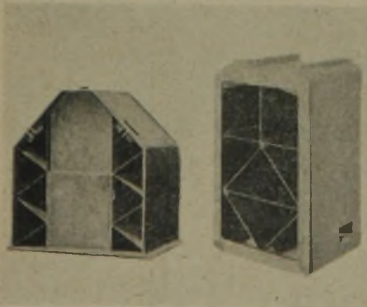


Abb. 4: Maschinenständer, Ständer mit Zellenanordnung

deutlich die Leichtbauausführung erkennen. Übrigens ist interessant, wie der Konstrukteur mit einfachen Mitteln, und zwar durch Anschweißen zweier einfacher Winkeleisen, die beim Festspannen der Ständer auf dem Fundament auftretenden Kräfte in die Zugzone der äußeren Wand verlegt hat. Auch hier wieder die leichten nur 3-mm-Bleche, die kraftschlüssig verbunden sind. Der äußere Mantel ist in einem Stück aus 3-mm-Blech zusammengebogen und an der Seitenkante verschweißt. Mehrere Rippenbleche sorgen für die nötige Starrheit.

In Abb. 5 sind Bett und Tisch einer großen Schleifmaschine von 1600 mm Schleifraddurchmesser wieder-

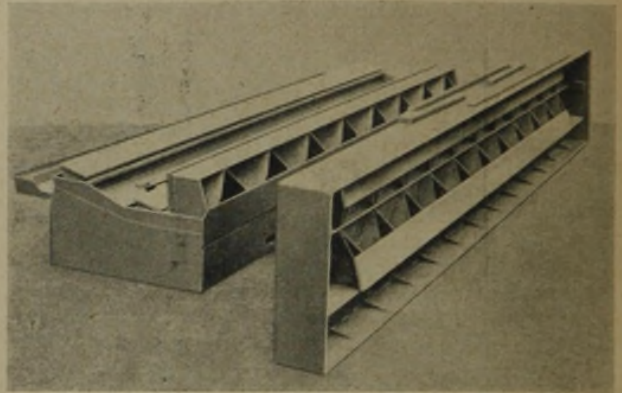


Abb. 5: Bett und Tisch einer schweren Schleifmaschine

gegeben. Die Länge des Bettes beträgt 5 Meter, seine Breite 1330 mm, seine Höhe 675 mm. Die Blechstärke beträgt hier in Anbetracht der größeren Kräfte 5 mm, das Gewicht 2000 Kilo. Dieses Bett hätte in der Gußeisenausführung etwa 5000 Kilo, also mehr als das Doppelte gewogen. Der senkrecht verlaufenden Führungsfläche, welche den Schleifdruck aufzunehmen hat, ist mit geringstem Werkstoffaufwand die größte Starrheit gegeben.

Aus Abb. 6, die das Bett und den Ständer einer mittelgroßen Schleifmaschine zeigt, ist das Aufbringen der Führungsbahnen gut ersichtlich. Sie bestehen hier am Bett aus Grauguß, und zwar aus einem dichten, feinkörnigen und daher verschleißfesten Gußeisen hoher Güte. Mit dem Bett sind die Führungen durch Aufschrauben verbunden. Ich möchte aber erwähnen, daß

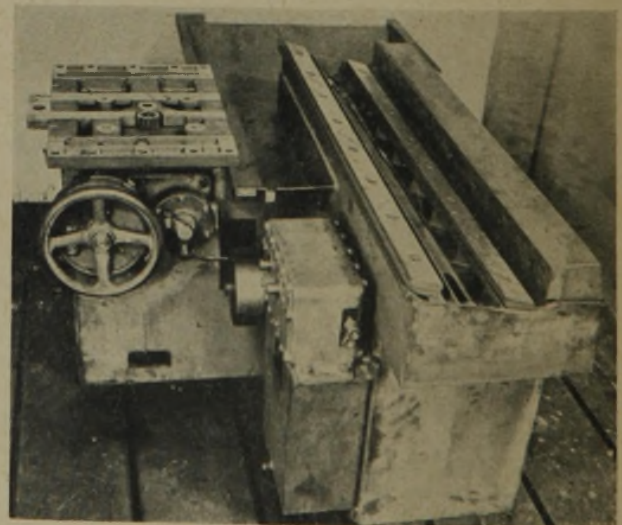


Abb. 6: Bett einer mittleren Schleifmaschine mit aufgebrachten Führungsbahnen

auch schon das Aufschießen von gußeisernen Führungsbahnen mit Erfolg durchgeführt wurde. Der Tisch, der auf diesem Bett gleitet, besitzt Stahlgleitführungen; sie sind mit dem Tisch verschweißt. Da sie aus Stahl sind, sind sie als die verschleißfesteren anzusehen.

Abb. 7 gibt eine mittelgroße Schleifmaschine von 350 mm Schleifraddurchmesser und 800 mm Schleif-

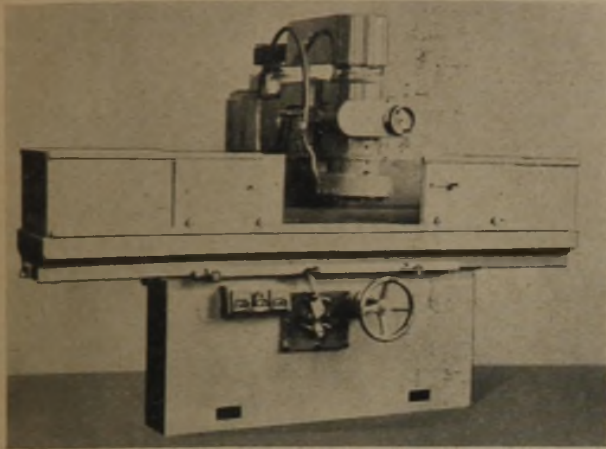


Abb. 7: Flächenschleifmaschine mit senkrechter Schleifwelle

länge wieder. Sie ist in ihren Hauptteilen durchweg mit 3 mm Blechstärke gebaut. Ich glaube sagen zu dürfen, daß auch die Form jedweden ästhetischen Ansprüchen mit ihrer glatten und zweckmäßigen Linienführung genügt. Das Gewicht dieser Maschine beträgt 1350 Kilo gegenüber der gußeisernen Ausführung von 2600 Kilo.

Abb. 8 zeigt eine Ausführung aus anderen Gebieten des Maschinenbaues, ein Drehbankbett von 7 Meter

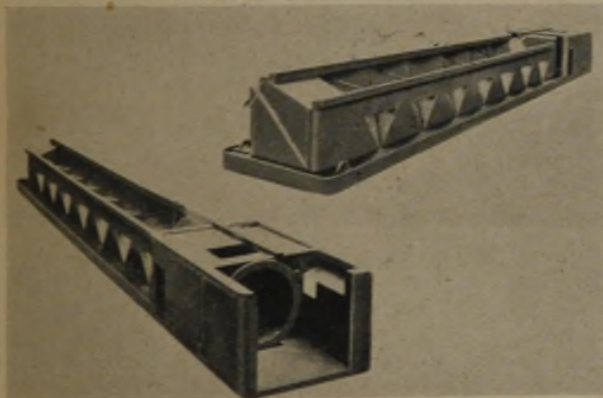


Abb. 8: Drehbankbett im Stahlbau

Länge, 1 m Breite und 800 mm Höhe. Das Gewicht beträgt 2000 Kilo. Das Bett besteht aus 5-mm-Blech. Es ist außerordentlich versteift durch die angewendete Dreieckspyramidenverrippung, welche zudem zahlreiche und für die Spanabfuhr sehr günstige Öffnungen ergibt. Trotz der leichteren offenen Konstruktion erhalten wir den Eindruck eines zwar leichten, aber außerordentlich starren Körpers, sowohl im Hinblick auf die statische als auch dynamische Starrheit. — Der Konstrukteur hat durch Hochziehen der Wand hier dem Support die wichtige Druckaufnahme weiter außen als sonst üblich durch eine vorn auf der hochgezogenen Wand liegenden Führung geschaffen. Zu den in Abb. 9 wiedergegebenen Drehbankeinzelteilen aus Stahlblech ist nichts besonderes zu bemerken. Im

Spindelkasten sehen wir wieder den Verlauf der absteifenden dünnen Zellwände.

In Abb. 10 wird wieder an einem Ständer einer Karusselldrehbank der Aufbau des aus 5-mm-Blech hergestellten Körpers deutlich. Die hellen gestrichelten Linien zeigen den Verlauf der Zellwände, die mit dem äußeren Mantelblech verschweißt sind. An dem rechten Ständer sieht man schräg von unten in den Ständer hinein und erkennt die dünnen absteifenden Bleche, ebenso den Boden, der als Abschlußblech mit wandartigen Rippen versteift ist.

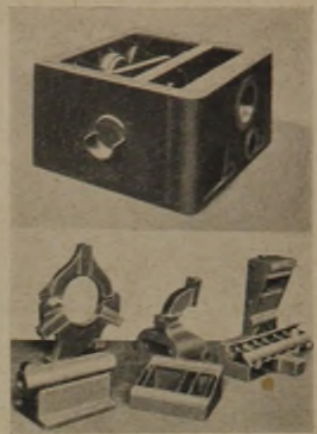


Abb. 9: Drehbank-Einzelteile (Stahlbau)

Das Bett zum Ständer dieser Karusselldrehbank zeigt Abb. 11. Man sieht rechts, wie das unterste Blech, welches als waagerechte Wand durch das Bett geht, durch verschweißte senkrechte Wandbleche wabenartig abgesteift ist.

Diese amerikanische Räummaschine (Abb. 12) bringe ich als Beispiel für die Plattenbauweise. Es handelt sich hier nicht um typischen Leichtbau, obwohl etwa eine Gewichtsersparnis bis 15% gegenüber der gußeisernen Ausführung angenommen werden kann. Die Wände bestehen aus etwa 10 bis 15 mm starken Walzblechen, in die eine oder zwei Querwände wie bei einer gußeisernen Ausführung eingeschweißt sind.

Hier ist also lediglich die gußeiserne Konstruktion durch Stahl ersetzt worden, ohne den weiteren Schritt zu wirklicher Leichtbaulösung zu tun.

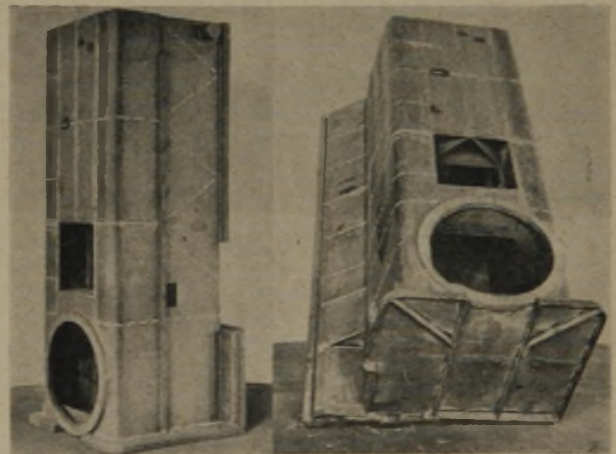


Abb. 10: Ständer einer Karussell-Drehbank (Stahlbau)

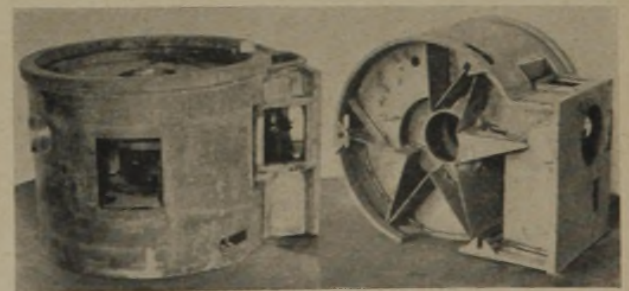


Abb. 11: Bett einer Karussell-Drehbank (Stahlbau)

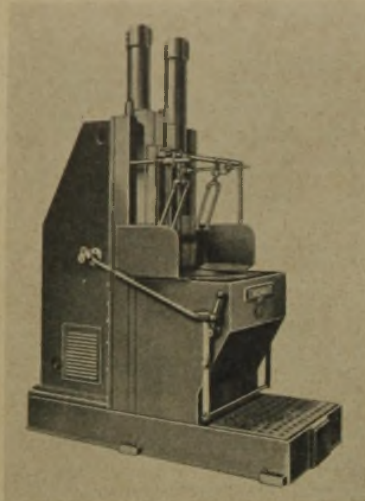


Abb. 12: Räummaschine der Cincinnati Milling

Hier ist also lediglich die gußeiserne Konstruktion durch Stahl ersetzt worden, ohne den weiteren Schritt zu wirklicher Leichtbaulösung zu tun.

Ich will nun nach diesem Anschauungsmaterial kurz eine Zusammenfassung der Vorteile anschließen.

1. Der Leichtbau erspart Werkstoff bis zu 50 Prozent.

2. Dieser Leichtbau ermöglicht es, hohe Starrheit viel leichter als bei Gußeisen zu erreichen.

3. Die Leichtbaumaschine dämpft Schwingungen viel besser als eine Gußeisenmaschine.
4. Der Leichtbau ermöglicht es, durch das Schweißen sich sehr schnell zu fortschrittlichen neuartigen Konstruktionen zu entschließen, sobald der technische Fortschritt dies verlangt, und schneller als sonst ist es möglich, die neue Maschine auf den Versuchsstand und dann auf den Markt zu bringen.
5. Die Bruchgefahr ist infolge der höheren Festigkeit des Baustoffes geringer.
6. Der Leichtbau benötigt keine Modelle.

7. Die Bearbeitungszugaben können bei der geschweißten Leichtbauausführung besser beherrscht werden.
8. Die Fundamente können leichter sein.
9. Die Deckenbelastungen sind geringer.
10. Der Leichtbau bringt Fracht- und in vielen Fällen Zollersparnis.
11. Dieser Leichtbau bringt geringen Ausschuß, da Fehlgüsse vermieden werden.
12. Sonderausführungen sind schneller und leichter ausführbar.
13. Die ganze Lagerhaltung ist einfacher; es wird an Raum gespart, da die Rohbleche einfacher gelagert werden können.
14. Die Bewegungskosten auch innerhalb der Werkstatt sind beim Leichtbau geringer.

Zum Abschluß lassen Sie mich noch kurz auf die Frage der Einführung für den Leichtbau eingehen.

Natürlich ist jede neue Technik im Anfang teurer.

Man kann nicht erwarten, daß hier sofort und ohne Mühe, ohne Umlernen, ohne Erziehung und ohne Lehrgeld ein billiges Verfahren einem in den Schoß fällt. Auch kann man im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit nicht eine alte hochentwickelte Technik wie die der Gießerei mit der noch jungen Leichtbautechnik vergleichen.

Dies darf aber nicht dazu führen, daß man von vornherein den Leichtbau ablehnt und sich entgegenstemmt. Wenn Neues kommen soll, so wird es allerdings ohne Entwertung seither benützter Einrichtungen nicht abgehen. Es wird aber derjenige, der sich näher mit diesen Fragen befaßt, sehr bald die Vorteile merken, und es ist zu hoffen, daß wir bald mehr von der Leichtbautechnik auch im Maschinenbau hören werden.

Der Leichtbau im Walzwerksbau

Werkfotos: Friedrich-Alfred-Hütte, Rheinhausen

Von Dipl.-Ing. Rosenbaum, Friedrich-Alfred-Hütte, Rheinhausen

Mir ist der Auftrag zuteil geworden, über Leichtbau im Walzwerksbau zu sprechen und ich möchte im folgenden kurz einige Beispiele anführen, wie man Leichtbau im Walzwerk betreibt.

Die Konstruktionen sind bei uns grundsätzlich aus Zweckmäßigkeitsgründen aufgebaut worden und haben erst als zweite Ursache den Grund des Leichtbaues gehabt.

Zunächst möchte ich einige Beispiele geschweißter Kran-Konstruktionen zeigen, bei welchen

mir allerdings ein Gewichtsvergleich fehlt, wobei aber das Bild die Leichtigkeit der Konstruktion vor Augen führen wird. (Abb. 1.)

Es ist dies zunächst ein Stabeisenkran, dessen Katze in einem Stück geschweißt ist und in der Schweißkonstruktion sämtliche Lager trägt. Die Katze ist einteilig ausgebildet, hat also keine aufgesetzten Teile mehr; nur die beweglichen Teile sind eingelegt, und zwar in sogenannten Korblagern. Da die Katze ganz auf Wälzlagern läuft, sind alle Lager einteilig ausgebildet, was wiederum zur Gewichtersparnis beiträgt. Sämtliche Zahnräder laufen in Öl in Blechschutzkästen, welche bei dem Ausspindeln des Werkstückes gleichzeitig mitbearbeitet wurden.

Abbildung 2 zeigt die Kopfräger-Konstruktion mit den im Kopfräger eingebauten Endlagern der Fahrwelle. Ganz abgesehen davon, daß diese Kon-

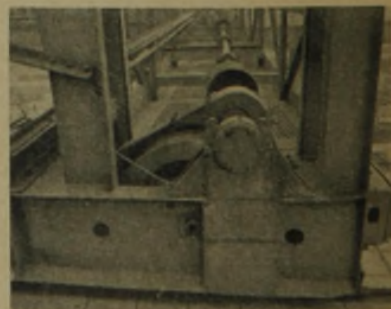


Abb. 2: Fahrtriebwellenlagerung im Kopfräger eines Laufgangs

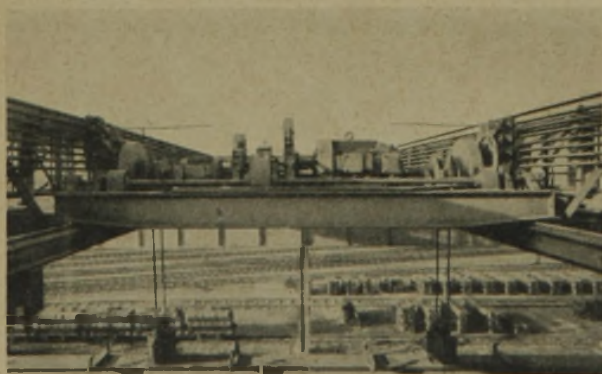


Abb. 1: Krankkatze

struktionsleicht baut, hat sie den großen Vorteil, daß die bisher bekannten Schwierigkeiten an den aufgesetzten Lagerböcken in Fortfall kommen, d. h., die im Kran auftretenden ganz erheblichen Bremskräfte werden nicht mehr wie bisher von einigen Befestigungsschrauben und Keilen aufgenommen, sondern auf den Kopfträger des Krans direkt übertragen. Das bei hochbeanspruchten Hüttenwerkskränen leider immer übliche Lockerwerden der Lagerböcke ist völlig in Fortfall gekommen. Die Abbildung zeigt auch die Konstruktion der Böcke als Korblager.

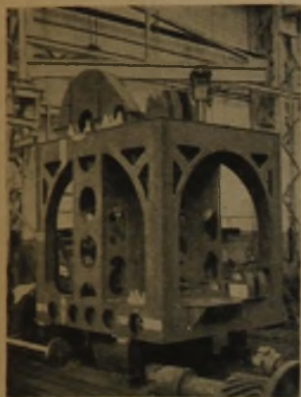


Abb. 3: Geschweißte Tiefenkatze

Abbildung 3 stellt eine geschweißte Tiefenkatze dar. Die örtlichen Verhältnisse bedingten eine hohe Katze für diesen Tiefenkrane. Wir sind dann schrittweise vorgegangen und haben die erste Katze aus 12 mm Blech hergestellt und dann die zweite aus 8 mm Blech. Das Bild zeigt die montagefertige Katze. Die gesamte Blechschweißkonstruktion ist als Rahmenkonstruktion ausgebildet. Es hat sich herausgestellt, daß die Katze bei weitem

steifer ist, als die vorher in Betrieb befindliche genietete Katzekonstruktion. Im übrigen gilt für die grundsätzliche Ausführung wie Lagerung, Oelkapselung aller Zahnräder und dergleichen dasselbe wie für den vorher erwähnten Stabeisenkran.

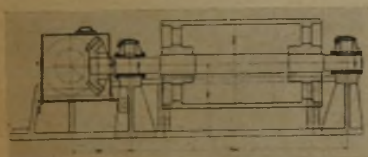


Abb. 4: Rollgangrahmen, alte Ausführung

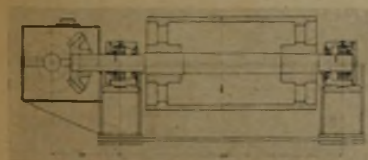


Abb. 5: Rollgangrahmen für Kegelradantrieb, neue Ausführung

Ich spreche nun von den Rollgängen und möchte zunächst 2 Bilder bringen, die im gleichen Maßstabe aufgezeichnet, die alte Konstruktion mit Stahlgußrahmen (Abb. 4) und die neue Konstruktion mit geschweißtem Rahmen (Abb. 5) einander gegenüberstellen. Das wichtige hierbei

ist, daß die geschweißte Konstruktion bei weitem widerstandsfähiger ist als die alte gegossene. Das nächste Bild (Abb. 6) zeigt den Leichtbau geschweißter Rahmen. In der Gegenüberstellung (Abb. 7) gebe ich einen Gewichtsvergleich. Wir können hierbei feststellen, daß

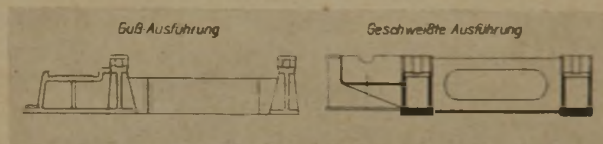


Abb. 7: Gewichtsvergleich einer Guß- und Schweißkonstruktion des Rollgangrahmens eines Blocktransport-Rollganges. Gewicht der Gußausführung 4100 kg, Gewicht der geschweißten Ausführung 3200 kg, Gewichtsersparnis 22 Prozent

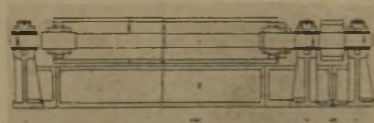


Abb. 8: Rollgangrahmen, alte Ausführung

der geschweißte Rahmen um 22% leichter geworden ist, trotzdem er im Widerstandsmoment erheblich stabiler ist. Wir gingen dann daran, den Rollgang einer Blockstraße umzubauen. Ich zeige zunächst einen alten Rollgangrahmen ältester Konstruktion (Abb. 8), bei dem noch Stirnräder angewandt sind mit Stahlgußrahmen. In Abbildung 9 sieht man einen Ausschnitt aus einem geschweißten Rollgang, dieser Rollgang ist z. T. in Arbeit.

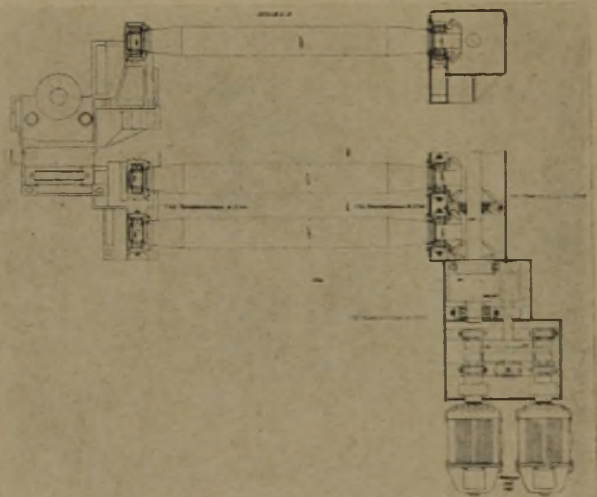


Abb. 9: Rollgang einer Blockstraße

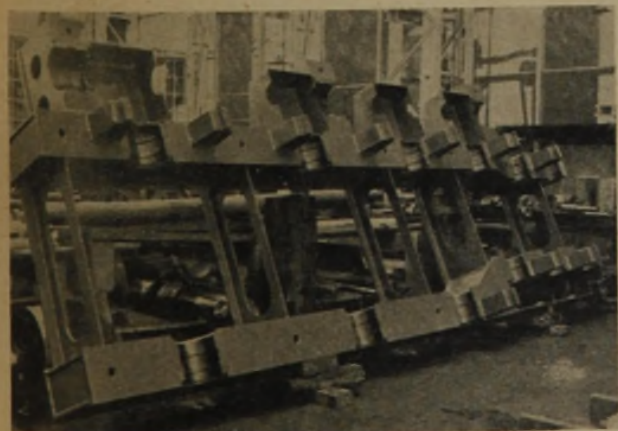


Abb. 6: Geschweißter Rollgangrahmen

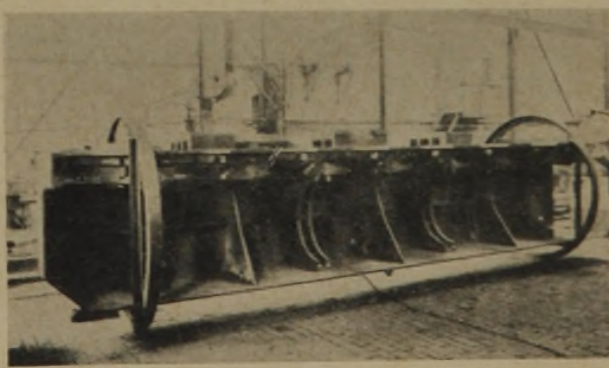


Abb. 10: Arbeitsrollgang einer Blockstraße in geschweißter Ausführung



Abb. 11: Getriebekasten einer Blockstraße von unten gesehen, geschweißte Ausführung

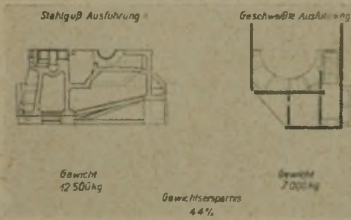


Abb. 12: Gewichtsvergleich einer Stahlguß- und Schweißkonstruktion des Rollgangrahmens einer Blockstraße

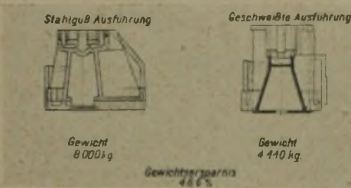


Abb. 13: Gewichtsvergleich einer Stahlguß- und Schweißkonstruktion des Gegenrahmens zum Arbeitsrollgang mit Traversenanschlüssen

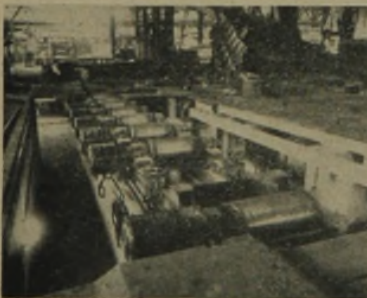


Abb. 14: Scherenrollgang 200 Schere, Einzelantrieb

Man sieht hier wieder, daß das Material weitgehendst ausgenützt wird. Es ist in keiner Weise unnötige Materialverschwendung aufgewandt worden. Als Vergleich für Gewichte derartiger Einzelantriebsrollgänge gegenüber alten Rollgängen mögen die nachfolgenden Zahlen für eine 525er-Strafe dienen. Ich mache hierbei darauf aufmerksam, daß zunächst die Gewichte der Rahmen miteinander verglichen sind, und daß sich hierbei eine Gewichtsersparnis von 52,9% des geschweißten Rahmens gegenüber den alten gußeisernen Rahmen ergibt. (Abb. 16.)

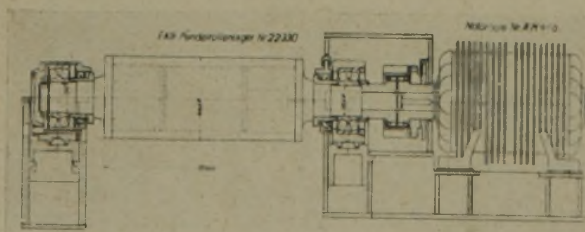


Abb. 15: Zufuhrrollgang einer Blockstraße

Abbildungen 10 und 11 sind Aufnahmen von gerade in Arbeit befindlichen Rollgängen.

Am instruktivsten wirkt vielleicht das Vergleichsbild mit einem modernen Stahlgußrollgang. (Abb. 12.)

Man sieht, daß trotz äußerst stabiler Konstruktion, wie sie auch Abbildung 10 zeigt, bei einer Gewichts-minderung von 12 500 kg auf 7 000 kg eine Gewichtsersparnis von 44 Prozent erzielt ist. Ähnlich (Abb. 13) verhält es sich bei der Loslagerseite eines derartigen Rollganges, bei der wir durch eine Gewichtsherabsetzung von 8 000 kg auf 4 110 kg sogar 48,6% Gewichtsersparnis erhalten. Abb. 14 zeigt einen Rollgang mit Einzelantrieb mit Flanschmotoren und Abb. 15 einen Einzelantriebs-Rollgang mit Fußmotoren.

Man sieht hier wieder, daß das Material weitgehendst ausgenützt wird. Es ist in keiner Weise unnötige Materialverschwendung aufgewandt worden.

Ferner habe ich das Gesamtgewicht des Rollganges ermitteln lassen; es ergibt sich hier eine Gewichtsersparnis von 38,0%. Es zeigt sich also, wie weit-

	alt	neu	Ersparnis
Rahmen	1 400 kg	660 kg	52,9%
Rollen mit Achsen, Pleuelen	1 480 "	800 "	
Rollen mit Fuß- Motoren		800 "	
Laufrollen mit Lager		570 "	
Lagerrollen	18 "		
Flanschrollen	75 "		
Gesamtgewicht	380 "		
Gesamtgewicht alt	1 62 "		
Zusatz	35 "	25 "	
Gesamt	1 480 kg	2 155 kg	38,0%

Abb. 16: Gewichtsvergleich der Guß- oder Schweißkonstruktion eines Rollgangrahmens

gehend man gerade beim Umbau der Rollgänge bei geeigneten Konstruktionen Leichtbauweise betreiben kann. Es ist besonders einfach bei Rollgängen, da sie ja hier immer auf Fundamenten liegen und Ermüdungserscheinung durch Beanspruchung der Schweißnähte selten in Erscheinung treten können.

Ja, ich glaube sogar, daß wir im ganzen noch zu schwer konstruiert haben. Wer Walzwerke kennt, weiß jedoch, daß man Leichtbau hier nicht übertreiben soll, da ja oft Beanspruchungen auftreten, die man rechnerisch gar nicht ermitteln kann.

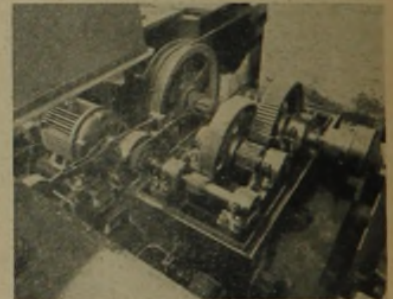


Abb. 17: Schlepperantrieb einer 850er-Strafe, Rollenlager

Nun zu Kammwalzgerüsten und Antrieben. Zunächst ein Bild (Abb. 17) von einem Schlepperantrieb und im Anschluß daran die Zeichnung dieses Antriebes. (Abb. 18.)

Die Konstruktion bietet ganz abgesehen von der Leichtbauweise noch eine große Anzahl weiterer Vorteile. Es liegen hier sämtliche Lager im Oelraum und

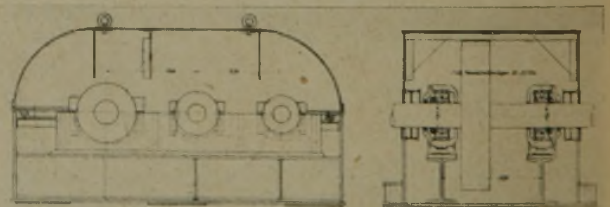


Abb. 18: Getriebekasten für Schlepperantrieb

sind so jeder Verschmutzung überhaupt entzogen. Ferner hat sich auf Grund der Leichtbauweise ein großer Oelraum ergeben, d. h., das einmal durch Spritzen herangezogene Oel wird sofort wieder den Zähnen oder Lagern entzogen und neues tritt an seine Stelle.

Uebersteigert man die Oelmenge, so wird bei engen Konstruktionen stets eine erhöhte Erwärmung die Folge sein. Die nachfolgenden Bilder lassen klar erkennen, daß ich grundsätzlich große Oelräume bevorzuge, und dies hat seinen wichtigen betrieblichen Grund.



Abb. 19 bis 21: Kammwalzgerüst einer 500er-Straße



Abb. 22: Querschnitt des Kammwalzgerüsts der 500er-Straße

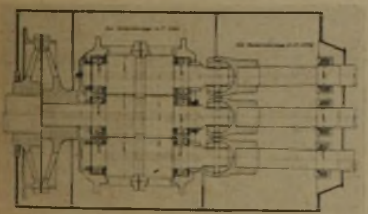


Abb. 23: Längsschnitt des Kammwalzgerüsts einer 500er-Straße

Es folgt nun ein Kammwalzgerüst für eine 525er-Straße (Abb. 19), welches ich zunächst als Betriebsaufnahme (Abb. 20, 21) und dann als Schnittzeichnung (Abb. 22, 23) zeigen möchte. Neu hieran ist die Teilung des eigentlichen Gerüsts, die Art der Gelenkspindeln, der im Oelraum liegende Spindelstuhl mit Rollenlagern als Festlager und die im gleichen Oelraum liegende Bibby-Kupplung. Trotz des großen Kastens, und obwohl die Forderung gestellt wurde, über der alten Sohlplatte das Gerüst anzubringen, ergibt sich folgender Gewichtsvergleich.

Das eigentliche Kammwalzgerüst einschließlich Einbaustück, aber ohne rotierende Teile, zuzüglich Sohlplatte der alten Bauweise wiegt 38 t, das neue Kammwalzgerüst gleichfalls ohne alle rotierenden Teile, aber einschließlich dem gesamtgeschweißten Kasten wiegt nur 17,6 t, d. h., obwohl das Kammwalzgerüst erheblich breiter gebaut werden mußte, um die Forderung zu erfüllen, die alten Sohlplatten für das alte Reservegerüst bestehen zu lassen, wurde eine Gewichtssparnis von 54% erzielt.

Noch augenfälliger ist vielleicht das folgende Bild (Abb. 24). Es zeigt ein altes Kammwalzgerüst und daneben ein neues Leichtbaugerüst, welches ja eigentlich nur noch einen Rahmen für die Kammwalze darstellt. Der Gewichtsvergleich und der Vergleich der Gerüste (Abb. 25), welche im gleichen Maßstab gezeichnet sind, kennzeichnen die unterschiedlichen Verhältnisse. Ich habe hierbei natürlich die Kastenaus-

führung nur genau so weitgehend gezeichnet, wie vorher das Gerüst reichte.

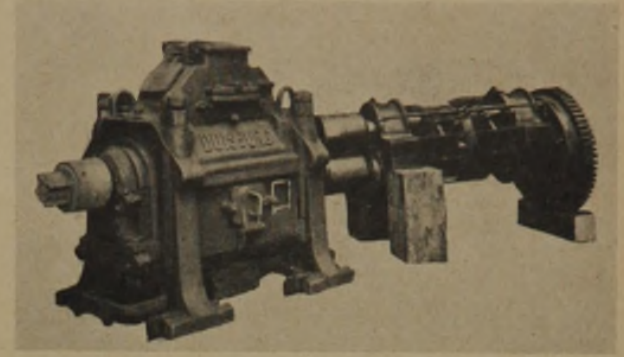


Abb. 24: Duo-Kammwalzgerüste einer Drahtstraße, links alte, rechts neue Ausführung

Es ergibt sich also bei dem Gerüst einschl. Sohlplatte einerseits und dem Gerüst einschl. Kasten andererseits eine Ersparnis von fast 57%. Beim Zusammenrechnen aller erforderlichen Teile einschließlich Kammwalzen, die ja in beiden Fällen gleich sind, ergibt sich immer noch eine Gewichtssparnis von über 46%.

Das folgende Bild (Abb. 26) zeigt noch einen Umbau in unserem Werk, eine Drahtstraße, bei der in der eben beschriebenen Bauweise Getriebe, Kupplungen, Kammwalzgerüste und Gelenkspindeln in einem Raum vereinigt wurden. Das gleiche ist in der Schnittzeichnung (Abb. 27) zu erkennen.

Auf Grund unserer Erfahrungen auf diesem Gebiete und auf Grund des einwandfreien Laufs dieser Anlage haben wir uns nun entschlossen, an einer Staffei einer 300er-Straße, welche erneuert werden muß, die in Abb. 28 aufgeführte Bauweise vorzunehmen.

Hierzu ist nun folgendes zu bemerken: Die ersten Teile sind schon in etwa in Abbildung 27 dargestellt. Wir beabsichtigen hier nun noch weiter zu gehen und wollen den Oelraum bis an das Gerüst heranreichen lassen. Der Befestigungspunkt der Gerüste selbst ist nicht mehr auf einer darunterliegenden Sohlplatte, sondern die Gerüste hängen in einem durchgehenden

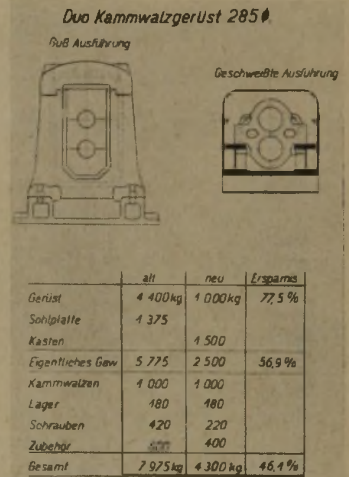


Abb. 25: Gewichtsvergleich einer Guß- und Schweißkonstruktion eines Duo-Kammwalzgerüsts 285 Ø

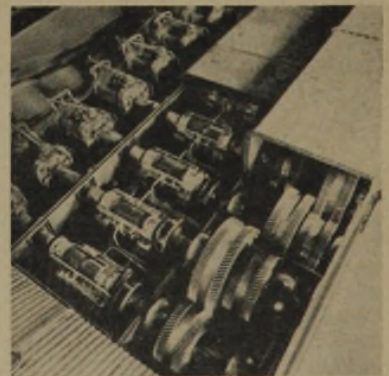


Abb. 26: Getriebe- und Kammwalze einer Drahtstraße

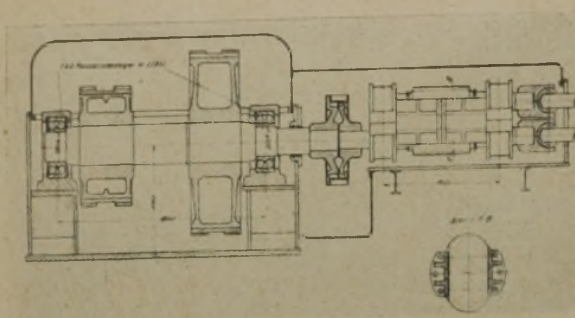


Abb. 27: Getriebekasten mit Abtrieb zum Duo-Kammwalzgerüst einer Drahtstraße

Rahmen und sind so hoch als möglich angefaßt, um die Bildung eines Drehmomentes durch die Beanspruchung der Walze, welche bisher immer mit einem erheblichen Hebelarm auf die Sohlplatte wirkte, möglichst zu vermeiden. Auch das Hochlegen der Befestigungspunkte hat eine sehr große Gewichtsersparnis für die Gerüste und vor allem eine Gewichtsersparnis durch die nunmehr wegfallenden Sohlplatten, da die Rahmen, in denen die Gerüste sitzen, erheblich leichter werden.

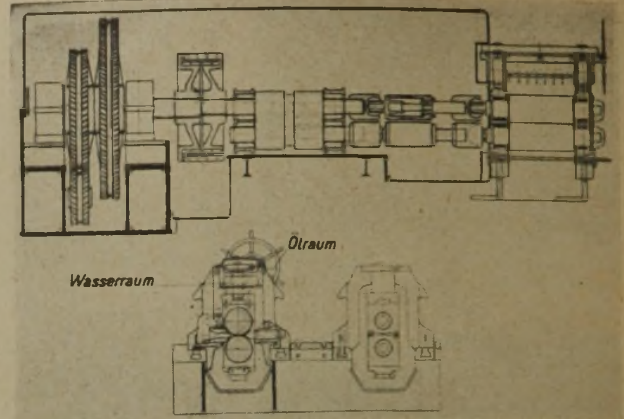


Abb. 28: Anordnung einer Feinstraffe

Ich habe in diesen kurzen Darlegungen eine Anzahl Beispiele über Gewichtsersparnis im Walzwerksbau gezeigt. Die hierdurch gegebenen Anregungen dürften bewiesen haben, daß hier sehr wesentliche Erfolge durch Leichtbau zu erreichen sind, und zwar nicht nur hinsichtlich der Gewichtsersparnis, sondern auch besonders hinsichtlich der Güte der Ausführung.

Vergleichende Betrachtungen über die Bauaufgaben der Wasser-, Land- und Luftfahrzeuge und ihre konstruktiven Lösungen unter besonderer Berücksichtigung der Schalenbauweise*)

Von Dr.-Ing. H. Croseck, Kronberg

Durch die schnelle Entwicklung der Technik ist jeder ihrer Zweige heute allzusehr zum Spezialgebiet geworden. Deshalb ist es m. E. ratsam und nützlich, gelegentlich darauf zu achten, was in anderen Zweigen der Technik vor sich geht. Nachdem in den vorangegangenen Vorträgen verschiedene Aufgaben gesondert vom Standpunkt des Leichtbaus behandelt worden sind, möchte ich deshalb am Beispiel des Verkehrswesens zeigen, wie vieles Gemeinsame, trotz aller scheinbaren äußeren Verschiedenheiten, die einzelnen Gebiete dieser Technik haben, wie eines dem anderen wertvolle Anregungen geben kann und es nicht nötig ist, daß jedes für sich noch einmal dieselben Versuche durchmacht und nochmals dieselben Erfahrungen sammelt, die in einem anderen Zweige der Technik seit Jahren in ausgereifter Form vorhanden sind.

Wir haben im Landfahrzeugbau und im Schiffbau sehr alte, zum Teil weitgehendst zu Standardformen gelangte Zweige der Technik vor uns. Demgegenüber ist der Flugzeugbau etwas ganz Junges. Aber gerade in den Zweigen der Technik mit allzuviel Tradition und Vorbildern ist es für den damit belasteten Ingenieur außerordentlich schwierig, sich hiervon frei zu machen, wenn neue Aufgaben grundsätzlich neue Lösungen bedingen. Für die Art, ein neues technisches Problem anzufassen, kann aber gerade der Flugzeugbau, der, noch mitten in der Entwicklung stehend, fast täglich vor dieser Aufgabe steht, oft als Vorbild dienen. Man kann jedoch andererseits nicht einfach Luftfahrzeug-Konstruktionen übernehmen; denn bei ihnen führt die alles andere beherrschende Bedeutung des Gewichts u. U. zu konstruktiven Lösungen, die für den Fahrzeugbau nicht mehr als wirtschaftlich tragbar anzusprechen sind, aber die bewußte geistige Einstellung zum Leichtbau an sich kann vorbildlich sein.

Eines der Grundgebote des Leichtbaus ist, so zu konstruieren, daß man die Konstruktion auch berech-

nen kann. Voraussetzung hierfür ist eine eindeutige Definition der Bauaufgabe und eine klare Erfassung der wirkenden Kräfte und des Spannungszustandes. Ich möchte deshalb in einer zusammenfassenden Darstellung zunächst die Bauaufgaben der Wasser-, Land- und Luftfahrzeuge und die sich daraus ergebenden Belastungsannahmen diskutieren und danach die konstruktiven Lösungen vom Standpunkt des Leichtbaus unter besonderer Berücksichtigung der Schalenbauweise vergleichend betrachten.

Vergleich der Bauaufgaben und der sich daraus ergebenden Belastungsannahmen

Jedes Fahrzeug hat die Aufgabe, eine bestimmte Last, Personen oder Güter, mit einer gewissen Geschwindigkeit über eine festgelegte Strecke zu befördern. Die zweckmäßige Größe und Geschwindigkeit ergeben sich dabei aus wirtschaftlichen Ueberlegungen, sofern wir von reinen Kriegsfahrzeugen absehen. Die wesentlichen Unterschiede in der äußeren Formgebung sind durch die Verschiedenartigkeit der drei Medien: Wasser, Land und Luft, in denen sich die Fahrzeuge bewegen, bedingt. Das Schiff und das Flugzeug sind in ihrer äußeren Gestaltung weitgehendst nach hydrodynamischen oder aerodynamischen Gesichtspunkten zu formen, denen sich die Konstruktion im allgemeinen unterzuordnen hat. Landfahrzeuge wurden bisher fast nur nach dem reinen Raumbedarf bemessen und waren teilweise nicht viel mehr als rollende Plattformen mit aufgesetzten rechteckigen Kästen mit mehr oder weniger abgerundeten Kanten. Allenfalls das Personenauto wurde nach den vermeintlichen Gesichtspunkten der Formschönheit oder sogar einer wechselnden, launischen Mode zuliebe geformt. Erst in der letzten Zeit, durch die Auswirkungen des Baus der Reichsautobahnen und unter dem Gesichtspunkt des Schnellverkehrs, wurde die Bedeutung des Luftwiderstandes für die Antriebsleistung erkannt und dadurch der Bau

*) Die Abbildungen wurden vom Verfasser zur Verfügung gestellt

von stromlinienförmigen Wagen mehr als nur eine Frage des Geschmacks.

Betrachten wir nun nacheinander die Bauaufgaben der einzelnen Fahrzeuge:

a) Landfahrzeuge

Hier liegt die einfachste Problemstellung vor. Das Fahrzeug: Kraftwagen oder Schienenfahrzeug, ist im wesentlichen belastet durch Kräfte in vertikaler Richtung aus Personen oder Güterlast, Gewicht der Antriebsanlage und Zubehörteile sowie dem Eigengewicht. Die Auflagerung geschieht im allgemeinen in zwei

Ebenen oder Punkten, z. B. Drehgestell-Lagern, so, daß ein Biegungsträger auf zwei Stützen mit mehr oder weniger überkragenden Enden entsteht. Bei angenähert gleichförmiger Belastung würden sich die kleinsten Biegemomente bei einer Ueberhanglänge von etwa je 20% ergeben. Diese Abstützungsentfernung und Ueberhanglängen können meistens nicht nach diesem Gesichtspunkt gewählt werden, weil der mögliche Radstand beispielsweise weitgehendst durch Gleisabstände und Gleiskrümmungen begrenzt ist und sonst die Ueberhänge in Krümmungen über das Begrenzungsprofil auswandern oder bei hintereinander gekuppelten Wagen die Fahreigenschaften leiden würden. Es mag nebenbei erwähnt werden, daß man logischerweise, sofern die Seitenwände zum Tragen herangezogen werden, Türöffnungen an die Stelle kleinster Querkräfte, also an das Ende oder in Wagenmitte legen sollte.

Hinzu kommen noch Kräfte in horizontaler Richtung, und zwar Zug- und Druckkräfte, Reibungswiderstände und Massenkräfte bei beschleunigten Bewegungsvorgängen, beim Anfahren und Bremsen. Besonders wichtig ist im Eisenbahnwesen, also bei mehreren zusammengekuppelten Wagen, dann noch die Sicherung der Fahrgäste bei Zusammenstößen. Dies bedingt äußerst widerstandsfähige Verbände, die im wesentlichen in Längsrichtung angeordnet sein müssen.

Treten die vorgenannten Kräfte unsymmetrisch auf, beispielsweise bei schienenlosen Fahrzeugen durch die größeren Unebenheiten der Straße bedingt, so entstehen zusätzliche Verdrehmomente, die eine ausreichende Torsionssteifigkeit des Verbandes erfordern.

Um sowohl die Fahrgäste als auch die tragenden Verbände bei höheren Geschwindigkeiten nicht allzusehr zu beanspruchen, ist es erforderlich, zwischen Rädern und Wagenkasten Federungen zwischenschalten, die die ganze Anordnung zu einem schwingungsfähigen

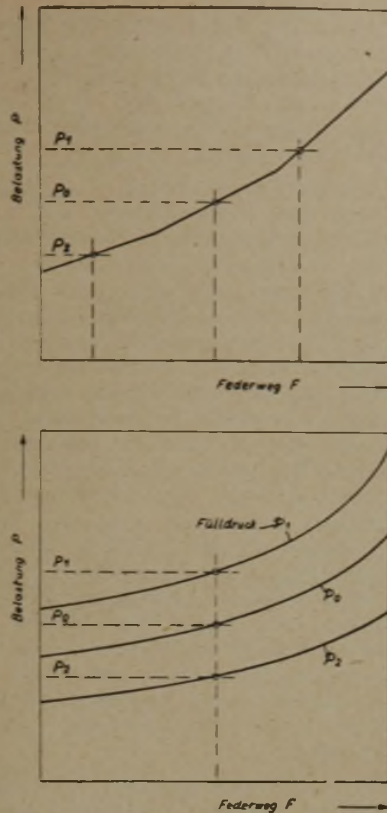


Abb. 1: Vergleich einer mechanischen Federung (oben) mit einer Luftfederung (unten)

System machen und für die Ermittlung der auftretenden Kräfte keine statische, sondern dynamische Betrachtung verlangen.

Alle bisher angewandten Federungsarten, Blattfedern, Spiralfedern, Torsionsstäbe, Ringfedern usw. können zwar durch mechanische Hintereinanderschaltung einzelner Federn verschiedener Charakteristik insgesamt eine progressive Charakteristik ergeben, die schwingungstechnischen Ueberlegungen entspricht, können jedoch, da ihre Charakteristik dann nicht mehr veränderlich ist, nur bedingt für verschiedene Geschwindigkeiten oder Belastungszustände ein Optimum an Wirkung erreichen. Je mehr der Leichtbau sich durchsetzt, um so größer wird der Unterschied zwischen Leergewicht und Vollgewicht werden. Von den bisher bekannten Federungen ist es allein und ausschließlich mit der Luftfederung oder einer kombinierten Öl-Luft-Federung möglich, durch Aenderung des Fülldruckes die Federcharakteristik jedem beliebigen Belastungszustand leicht anzupassen und durch geringfügige Aenderungen, gegebenenfalls beispielsweise durch Aenderung des Kompressionsverhältnisses, jede gewünschte Progressivität zu erreichen (s. Abb. 1). Der Verwendung der Luftfederung im Fahrzeugbau stehen, nachdem die Schwierigkeiten in der Abdichtung durch die langjährigen Erfahrungen im Bau von Flugzeugfederstreben restlos überwunden sind, auch keine Bedenken mehr im Wege. Zum anderen ist es beispielsweise möglich, trotz großer Federweichheit, durch automatische, auf die Durchfederung abbestimmte Regulierung bei besonders harten Stößen die Federung zu verfestigen oder beim Kurvenfahren die Neigungen des Wagenkastens zu verhindern*).

Es ist klar, daß die Größe der auftretenden dynamischen Kräfte außerordentlich von der Charakteristik der Federung abhängt. In den Lastannahmen für die Berechnung kommt dies heute noch nicht zur Geltung. Man begnügt sich damit, zu den statischen Lasten generell einen Zuschlag für Stoßkräfte von 30 bis 50% zu machen.

b) Wasserfahrzeuge

Im Schiffbau sind normale Bauten nach Festlegung ihrer Hauptabmessungen in ihren einzelnen Bauteilen weitgehendst durch die Vorschriften des Germanischen Lloyd bzw. Britischen Lloyd oder Bureau Veritas, d. h. sogenannter Klassifikationsgesellschaften, festgelegt. Diese Vorschriften sind im wesentlichen das Ergebnis einer langjährigen Erfahrung, und besondere Festigkeitsberechnungen werden allenfalls für die Aufnahme örtlicher Lasten, beispielsweise zur Feststellung der Beanspruchungen beim Stapellauf, erforderlich. Die Entwicklung der Schiffbaukonstruktion ist in jahrhundertelanger Folge vom Holzschiffbau zum Stahlschiffbau im wesentlichen rein empirisch vor sich gegangen, da es bisher nicht möglich gewesen ist, die im Seegang auftretenden Kräfte einwandfrei zu ermitteln. Ueber die Vorschriften des Germanischen Lloyd hinaus wurden für Sonderfahrzeuge, beispielsweise Kriegsschiffe, bisher nur rein statische Berechnungen zur Ermittlung der Querkräfte und Biegemomente für drei Zustände des Schiffes: Lage in ruhigem Wasser, Lage im Wellenberg und Lage im Wellental, durchgeführt. Die Gewichtsbelastung ist hierbei jeweils anders über die Schiffslänge verteilt als der stützende Auftrieb der verdrängten Wassermenge. Aus der Differenz beider ergibt sich die Belastungskurve für den Schiffsträger, durch deren zweimalige Integration Querkräfte und Biegemomente ermittelt werden können.

Doch auch hier wäre richtigerweise kein rein statischer Belastungszustand mehr zu betrachten, da bei den Bewegungen im Seegang ebenfalls ein periodischer

*) S. Patentschrift Nr. 623 215 Kl. 63c Gr. 41, F. Faudi, Luftfederung für Kraftfahrzeuge.

Wechsel der Kräfte auftritt, deren Ermittlung nur nach den Gesetzen der Dynamik unter Berücksichtigung der dabei auftretenden Massenwirkungen möglich ist. Die Erforschung der hierbei auftretenden Beanspruchungen wird erst in der heutigen Zeit intensiver verfolgt, nachdem beispielsweise durch die DVL-Glasritzdehnungsmesser u. a. die hierfür erforderlichen Meßgeräte geschaffen worden sind.

Im Jahre 1934 wurde die erste wirkliche Hochseemehrfahrt mit dem Motorschiff „San Franzisko“ gemacht. Die Auswertung zeigte die Bedeutung von hohen Wellen etwa von Schiffslänge, deren eine bei dieser Fahrt mit $16\frac{1}{2}$ m Höhe und 200 m Länge infolge ihrer großen Steilheit die höchsten gemessenen Beanspruchungen brachte, und zwar für die Lage des Schiffes im Wellental. Diese Beanspruchungen lagen selbst über den Werten bei einer noch höheren Welle von 18 m Höhe und 300 m Länge. Durch die Bewegungen des Schiffes im Seegang traten Tauchbeschleunigungen in der Größenordnung von $2\frac{1}{2}$ m/s² auf. Das bedeutet, daß das Gewicht des Schiffes gegenüber dem statischen Wert von etwa 13 000 t im ruhigen Wasser um etwa ± 3000 t schwankte. Infolge der dynamischen Momente um die Querachse tauchte der Vorsteven nach Durchgang eines Wellenberges um etwa $1\frac{1}{2}$ m höher und beim Einsetzen in ein Wellental um etwa 5 m tiefer, als der normalen Schwimmlage in einer gleichen Welle entsprechen würde.

Derartige Messungen, zusammen mit statistischen Beobachtungen über die auftretenden Wellen, geben dem Konstrukteur erst wirklich brauchbare Unterlagen für eine Berechnung ohne einen rein empirisch aufgebauten Baukatalog. Besondere Berücksichtigung erfordert auch hier das Problem der durch die periodischen Impulse der Kraftanlage erregten Schwingungen des Schiffskörpers.

c) Luftfahrzeuge

Während cum grano salis das schienengebundene Fahrzeug sich nur eindimensional bewegen kann, der Kraftwagen auf der Landstraße und ebenso das Schiff eine flächige, zweidimensionale Beweglichkeit haben, kommt beim Flugzeug noch die dritte Dimension hinzu. Außerdem kommt es bei seinen verschiedenen Betriebszuständen mit verschiedenen Medien in Berührung, da es neben der Bewegung in der Luft bei Start und Landung auch mit dem Land oder dem Wasser Kontakt bekommt. Hinzu kommt, daß es kein anderes Verkehrsmittel außer dem Flugzeug gibt, bei dem das Eigengewicht so einschneidend für die Verkehrsleistung ist, bei dem es so notwendig ist, das Gewicht aller Bauteile auf das geringste zulässige Maß zu vermindern. Auf der anderen Seite hat bei keinem anderen Verkehrsmittel eine gegenüber den auftretenden Beanspruchungen zu geringe Festigkeit so vernichtende Folgen. Man hat sich deshalb von vornherein bemüht, durch theoretische Ueberlegungen, Auswertung von Unfallereignissen und insbesondere praktische Beanspruchungsmessungen eine Vorstellung über die tatsächlich auftretenden Betriebsbeanspruchungen zu machen.

In den Anfängen der Luftfahrt hatte beispielsweise der Flügel, da die ersten Flugzeuge sehr vorsichtig geflogen wurden, keine wesentlich höheren Kräfte als das einfache Flugzeuggewicht zu tragen.

Mit wachsenden Flächenbelastungen und zunehmender Fluggeschwindigkeit traten jedoch beim Fliegen enger Kurven, in Böen und insbesondere beim Kunstflug Kräfte auf, die ein Vielfaches des Flugzeuggewichtes betragen können.

Es würde hier zu weit führen, den ganzen Gang der Entwicklung zu schildern. Wir haben heute in den sogenannten „Belastungsannahmen“, die

einen Teil der allgemeinen Bauvorschriften für Flugzeuge bilden, Vorschriften über die Art, Größe und Verteilung der im Flugbetrieb als wahrscheinlich erachteten Belastungen und über die gegenüber diesen Belastungen innezuhaltenden Festigkeitsgrenzen und Sicherheitszahlen.

In einer Anzahl von „Belastungsfällen“ sind, je nach dem Verwendungszweck, verschiedenartige Belastungsmöglichkeiten zusammengestellt. Dabei sind die sogenannten statischen Belastungszustände, außer wenn das Flugzeug am Boden steht, in der Minderzahl. Die meisten Betriebszustände sind instationär, d. h. das Flugzeug wird dynamisch belastet, wobei durch wechselnde Beschleunigungen bzw. Verzögerungen Trägheitskräfte wirksam werden. Man unterscheidet dabei zwischen sogenannten sicheren Belastungszuständen und Sicherheitszahlen. Unter ersteren sind solche Beanspruchungszustände verstanden, deren Auftreten während der Gesamtbetriebsdauer eines Flugzeuges mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit zu erwarten ist, und bei denen bereits derart hohe Beanspruchungen entstehen können, daß Zustände mit noch höheren Beanspruchungen als Ausnahmefälle anzusehen sind. Außer den sicheren Belastungszuständen kommen auch Zustände in Frage, die als ausnehmend ungünstig anzusehen sind, ferner Zustände, die, trotz an sich niedriger Beanspruchungshöhe, im Laufe der Zeit infolge ihrer Häufigkeit zu Dauerbrüchen führen können.

Gegenüber den für diese Zustände erhaltenen sicheren Kräften, Geschwindigkeiten, Arbeitsaufnahmen usw. werden Sicherheitszahlen angegeben, die bei der Durchführung des Festigkeitsnachweises entsprechend den einzelnen angegebenen Regeln zu verwenden sind. Die Sicherheitszahlen werden angewandt im Hinblick auf die Beanspruchung an der Streckgrenze, Bruchgrenze oder Stabilitätsgrenze. Wie weitgehend Klarheit über die Belastungsverteilung bestehen muß, mag daraus hervorgehen, daß teilweise bereits bei 1,8facher sicherer Belastung die Tragfähigkeit der Konstruktion erreicht werden darf. Aus der Vielzahl der belastungszustände, die Beanspruchungen durch Luftkräfte, durch Bodenkräfte, Wasserkräfte, Hand- und Fußkräfte, Maschinen- und andere Kräfte umfassen, sind in Abb. 2 die Grundbelastungszustände herausgegriffen, die den sogenannten A- und B-Fall, d. h. die Abfangbereiche aus dem Sturzflug bei positiver Auftriebszahl, den sogenannten C-Fall, den eigentlichen Sturzflug, und die Grenzfälle D und E, d. h. Abfangbereich aus dem Sturzflug bei negativer Auftriebszahl, umfassen.

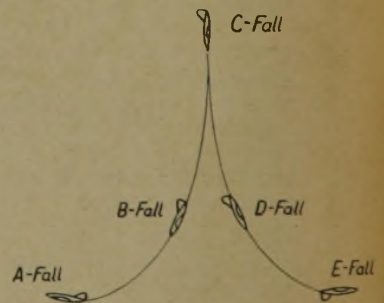


Abb. 2: Grundbelastungszustände der Belastungsannahmen für Flugzeuge

Alle Belastungszustände müssen für den Festigkeitsnachweis so weit durchgerechnet werden, daß für jedes einzelne Bauglied die jeweils höchstmögliche Beanspruchung festgestellt werden kann.

Wir sehen jedenfalls beim Vergleich des Vorgehens der Luftfahrt und ihrer wesentlich älteren Schwestern: Fahrzeugbau und Schiffbau, daß man auf der einen Seite jahrzehntelang rein empirisch vorgegangen ist, während man im Flugzeugbau gezwungenermaßen von Anfang an sich bemühte, die Vorgänge physikalisch richtig zu erfassen und Klarheit in die tatsächlich auftretenden Beanspruchungszustände zu bringen. Es

dürfte jedenfalls heute an der Zeit sein, daß die beiden älteren Fakultäten mit den im Flugzeugbau geschaffenen Meßmethoden und Meßgeräten auch ihrerseits darangingen, ähnliche Voraussetzungen zu schaffen, wie sie im Flugzeugbau bestehen. Die Anfänge dazu sind da. Ich erinnere insbesondere dabei an die Arbeiten des Instituts von Prof. Kamm in Stuttgart.

Konstruktive Lösungen

So außerordentlich verschieden die Erzeugnisse der einzelnen Zweige des Fahrzeugbaues dem Laien erscheinen mögen, findet doch der Ingenieur immer wieder folgende drei grundsätzlichen konstruktiven Lösungen:

- a) Tragwerke (Chassis) mit gar nicht oder nur teilweise tragendem Aufbau;
- b) Fachwerkträger;
- c) Blechwandhohlkörper.

Zu a): Insbesondere im Fahrzeugbau hat sich eine Bauweise entwickelt, die aus einem im wesentlichen alle Kräfte aufnehmenden Untergestell besteht. Wir haben dabei zu unterscheiden:

1. Untergestelle mit nur einem, als Rückgrat dienenden Langträger;
2. Untergestelle bzw. Tragwerke mit zwei und mehr Langträgern.

Die bekanntesten Konstruktionen im Fahrzeugbau mit nur einem alle Kräfte aufnehmenden Längsträger sind die Tatra-Wagen (s. Abb. 3), die einen rohrförmigen Querschnitt verwenden. Dieselbe Konstruktion finden wir im Flugzeugbau, allerdings ebenso vereinzelt, als Längsträger eines Rumpfes oder als Holm eines Flügels (s. Abb. 4).

In neuerer Zeit ist der BMW-Vollschwingachswagen bekannt geworden, der ein offenes U-Profil hat. Außerdem wäre ein geschlossenes Kastenprofil verwendbar. Für die Aufnahme der Biegebungsbeanspruchungen sind alle drei Profilarten angenähert gleichwertig. Bei der Aufnahme von Verdrehbeanspruchungen ergibt sich

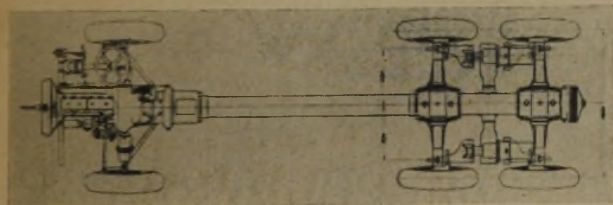


Abb. 3: Tatra-Lastwagen mit Zentralrohrchassis und Faudi-Luftfederung

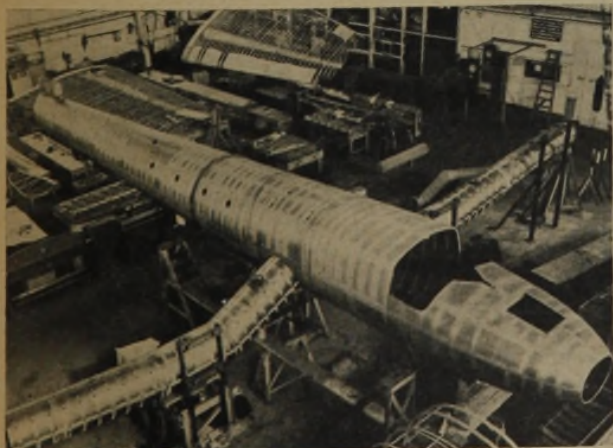


Abb. 4: Blohm & Voß „Ha 139“, Schalenrumpf und Einholmflügel!)*
Werkfoto

* Die Fußnoten sind am Schluß dieses Aufsatzes veröffentlicht (Seite 507)

jedoch, daß die Verdrehsteifigkeit geschlossener Hohlkörper der von offenen Profilen unendlich überlegen ist. Von solchen Kasten- oder Rohrquerschnitten ist vom Standpunkt des Leichtbaues noch folgendes zu sagen: Man wird, um das Gewicht möglichst gering zu halten, sich bemühen, durch Vergrößerung der äußeren Abmessungen bei relativ kleiner Wandstärke einen möglichst großen Trägheitsradius zu erreichen. Diesem Bemühen ist jedoch eine Grenze gesetzt, indem bei zu geringer Wandstärke die Gefahr örtlicher Verbeulungserscheinungen durch Druck- oder Schubbeanspruchung maßgeblich wird. Man muß also das Verhältnis Durchmesser : Wandstärke immer richtig und zweckmäßig wählen. Hierüber wird später noch einiges zu sagen sein.

Betrachten wir nun Untergestelle mit zwei Längsträgern: Wie wir eingangs sahen, ist dieses Trägersystem durch Querkraft, Biege- und Drehmomente beansprucht. Wir wollen zunächst davon absehen, daß beispielsweise beim Landfahrzeug infolge der elastischen Lagerung in vier Punkten die Berechnung des ganzen Trägersystems eine mehrfach statisch unbestimmte Aufgabe darstellt, die jedoch mit den bekannten Methoden der Statik ohne weiteres zu lösen ist. Zum Erkennen des Grundsätzlichen genügt es, der Einfachheit halber zwei einseitig eingespannte Träger vorzusetzen, die am freien Ende durch eine Querkraft und ein Verdrehmoment belastet sind.

Treten nur symmetrisch zur Mittellängsachse wirkende Kräfte auf, so bewirken diese eine Durchbiegung im gleichen Sinne von gleicher Größe, so daß hierbei die Art der Querverbindung keine Rolle spielt. Treten jedoch zusätzliche Verdrehmomente auf, so ist die zwischen den beiden Langträgern auftretende Verbundwirkung außerordentlich von der Formgebung dieser Querträger abhängig (s. Abb. 5). Unter der Wirkung eines durch zwei gleiche, aber entgegengesetzt gerichtete Kräfte dargestellten Drehmomentes erleidet jeder Träger eine Durchbiegung von gleicher Größe, aber entgegengesetzter Richtung. Wenn keine Querverbindung am Ende vorhanden ist, kann auch keinerlei gegenseitige Beeinflussung zwischen den beiden Langträgern erfolgen. Verbindet man die Langträger durch einen Querriegel, so kann ihre Formänderung nicht mehr unabhängig voneinander vor sich gehen. Es tritt eine Verbundwirkung auf, d. h. eine Belastung an einem Langträger bewirkt gleichzeitig Lagenänderungen des anderen. Für die Wahl der Lage der Querriegel ist maßgebend, daß die Verbundwirkung dort am meisten in Erscheinung tritt, wo die Durchbiegungen unterschiede am größten werden, Querriegel sind also außer an den Auflagestellen, wo sie meistens aus anderen Gründen bereits erforderlich sind, besonders an den überkragenden Enden und angenähert in der Mitte zwischen den Auflagen von besonderer Wirksamkeit*).

1. Ist der Querriegel beiderseitig gelenkig angeschlossen, so entsteht in ihm lediglich eine Normalkraft, unter deren Wirkung sich die Langträger um den Betrag Δa etwas nähern, während die Durchbiegung fast genau so groß bleibt, als wenn sie unabhängig voneinander belastet würden. Denn die entstandene Vertikalkomponente der auftretenden Normalkraft ist praktisch bedeutungslos.

2. Ist der Querriegel biegesteif und ebenso angeschlossen, im übrigen aber verdrehweich, so tritt in ihm eine Querkraft und ein Biegemoment auf. Dies ergibt rückführende Kräfte p an den Langträgern, die eine Verringerung der Durchbiegung f

*) S. Motorkritik, Anfang Juni 1932, Nr. 11. Croseck, Die Verbindungssteifigkeit der Fahrzeuge.

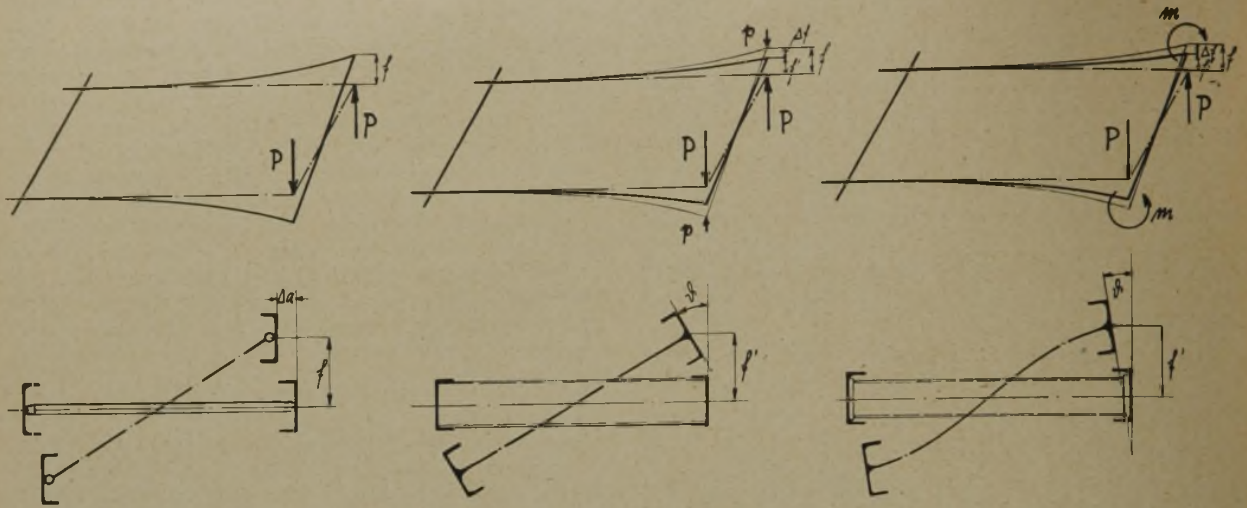


Abb. 5: Verbundwirkung durch Querträger in einem 2-Holm-System

um das Maß Δf auf f' bewirken und damit eine entsprechende Verminderung der Verdrehung des gesamten Systems ergeben. Das gleichzeitig im Querriegel auftretende Biegemoment äußert sich jedoch an den Langträgern als Verdrehmoment und ergibt eine Verdrehung der letzteren um den Winkel ϑ .

Bei Verwendung offener U-Profile für die Langträger wird die Verdrehsteifigkeit dieser im Verhältnis zur Biegesteifigkeit des Querriegels immer außerordentlich gering sein, so daß der Verdrehwinkel ϑ , der an den Kanten der Langträger bewirkt, groß ist und die Aufnahme-fähigkeit gegenüber Biegebeanspruchungen stark vermindert.

Bei verdrehweichen Langträgern ist also eine Verbindung durch biegeungssteife und biegeungssteif ange-schlossene Querträger grundsätzlich falsch.

3. Werden die Langträger durch einen rohr- oder kastenförmigen, also torsiionssteifen Querriegel, der im übrigen biegeungsweich sei, verbunden, so äußert sich beim Auftreten eines Verdrehmomentes die Verdrehsteifigkeit des Querriegels in einem an den Langträgern ausgeübten rückführenden Biegemoment m . Das Maß der Verbundwirkung hängt in diesem Fall im wesentlichen ab von der Biegesteifigkeit des Langträgers im Verhältnis zur Verdrehsteifigkeit des Querriegels. Je größer die Verdrehsteifigkeit des Querriegels ist im Vergleich zur Biegesteifigkeit des Langträgers, um so größer wird das auf die Langträger ausgeübte rückwirkende Biegemoment m , welches eine Verringerung der Durchbiegung f ergibt, welcher die Verdrehung des ganzen Trägersystems proportional ist.

Da in der Praxis die Querriegel zur Uebertragung der auf ihnen ruhenden Lasten auf die Langträger eine gewisse Biegesteifigkeit haben müssen, ist es ein Haupterfordernis, den Langträgern außer der Biegesteifigkeit, die zur Weiterleitung der Kräfte auf die Radachsen erforderlich ist, eine ausreichende Torsiionssteifigkeit zu geben. Also auch bei einem aus zwei Langträgern bestehenden Untergestell ist es ratsam, diesen kasten- oder rohrförmigen Querschnitt zu geben, um eine möglichst große Verdrehungssteifigkeit des ganzen Systems zu gewinnen.

Die neueren Bestrebungen im Automobilbau zur Er-

zielung torsiionssteifer Chassis gehen zum Teil in dieser Richtung.

Genau das gleiche Problem liegt vor beim Bau von Flugzeugtragwerken mit zwei Längsholmen, welche sämtliche Biege- und Verdrehungsbeanspruchungen aufnehmen müssen, während die darübergestreiften Rippen außer den Verbundrippen lediglich einen Formverband zur Erzielung des gewünschten Profils zur rein örtlichen Aufnahme der Luftkräfte darstellen. Ein Ausführungsbeispiel derartiger Flugzeugtragwerke zeigt Abb. 6.

Wagenkasten mit nur tragenden Seitenwänden, aber nicht tragfähigem Dach und Boden, sind nichts anderes als ein System von zwei biegeungssteifen, aber ver-

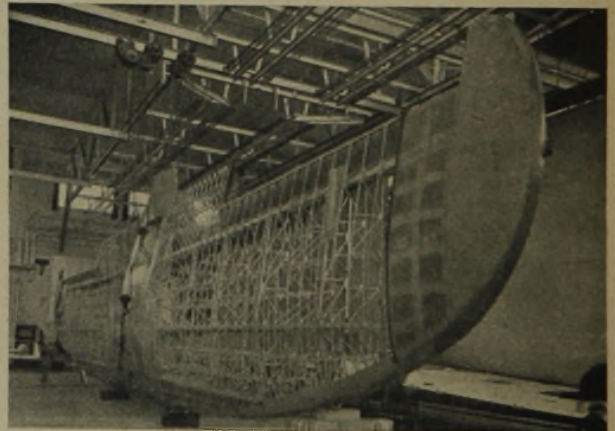


Abb. 6: Flügel der Dornier Do 14²⁾

Werkfoto: Dornier

drehweichen Langträgern. Drillmomente können nur durch antisymmetrische Kräfte aufgenommen werden. Erst bei geschlossenem Kasten ist ein gleichmäßiger Schubfluß zu erreichen.

Zu b: Fachwerkträger bringen keine besonderen neuartigen Probleme. Sie sind in ihren Berechnungsgrundlagen in vielen anderen Zweigen der Technik bekannt. In den Abbildungen 7 bis 9 sind deshalb nur einige Beispiele aus Fahrzeugbau, Schiffbau und Flugzeugbau gezeigt.

Auf eines muß jedoch noch hingewiesen werden: Die Stäbe eines Fachwerkes sind auf Zug oder Druck bzw. Knickung (gegebenenfalls Knickbiegung) beansprucht. Da die auf Druck oder Knicken beanspruch-

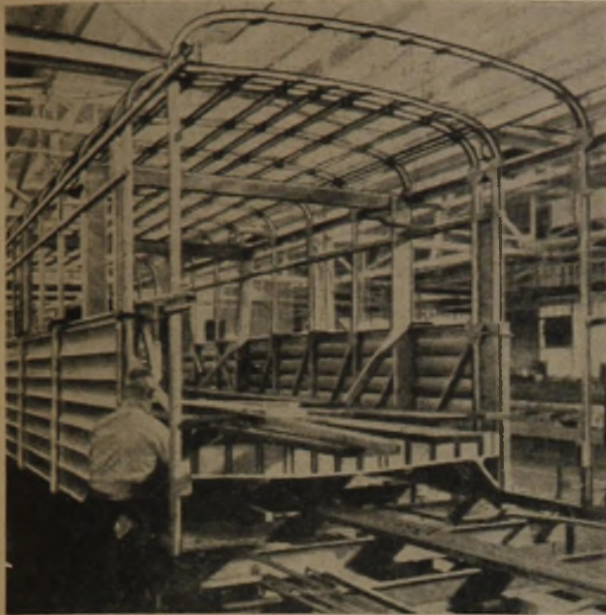


Abb. 7: Konstruktion von Budd. „Reading 65“³⁾



Abb. 8: Rumpfaufbau des Fairchild 45 Verkehrsflugzeuges⁴⁾ Werkfoto

ten Teile mehr Gewichts Aufwand erfordern als nur auf Zug beanspruchte Konstruktionsglieder, besteht die größte Ingenieurkunst im Leichtbau besonders darin, durch richtige Formgebung gedrückter Glieder die Bruchspannung möglichst der Druckfestigkeit des Materials zu nähern. Hierbei ist ganz allgemein zu sagen, daß für diese Art der Beanspruchung geschlossene Profilformen, also Rohre oder dgl., immer weitaus offenen Querschnitten überlegen sind. Diese



Abb. 9: Fairchild XC 31. Blick in das Rumpfende⁵⁾

Beanspruchungsart gibt auch der Formung der Flugzeugbauteile ihr Gepräge, indem dort hauptsächlich geschlossene Hohlkörper als Grundelement zu finden sind.

Die Druckbeanspruchung, unter der ein Stab ausknickt, richtet sich bekanntlich nach dem Schlankheitsverhältnis: $\frac{1}{i}$ (Abb. 10).

Für sehr schlanke Stäbe gilt bis zur Elastizitätsgrenze das hyperbolische Gesetz von Euler. Mit kleiner

werden von Tetmayer als Gerade angegeben wurde. Die von Karman auf theoretischer Grundlage bestimmte Kurve deckt sich damit annähernd. So weit rechnet der Maschinenbauer mit seinen größeren Wanddicken. Der Leichtbauer jedoch, der, um die hohen Spannungen bei kleinen l/i -Werten auszunutzen, den Trägheitsradius der Querschnitte möglichst groß machte,

kommt auch hier zwangsläufig zur Blechbauweise und zu sehr geringen Wandstärken. Durch die Abnahme der Wandstärke ist aber bei gleicher Querschnittsfläche die Vergrößerung des Trägheitsradius begrenzt, weil jetzt die Probleme der

örtlichen Festigkeit auftauchen. Bei diesen dünnen Wandstärken wird die theoretische Knicklast im Tetmayer-Karman-Bereich nicht mehr erreicht und die Knicklast nahezu von der Knicklänge unabhängig. Maßgeblich für die Größe der örtlichen Knickfestigkeit ist das Verhältnis der Wandstärke zu den sonstigen Abmessungen des Profils. Dabei muß dieses „Wandstärkenverhältnis“ je nach dem Schlankheitsverhältnis und dem verwandten Material richtig gewählt werden, um die jeweils höchst erreichbare Knickspannung ausnutzen zu können.

Das Duralprofil in Abb. 11b erreicht, wie in Abb. 11a zu sehen, bei Wandstärkenverhältnissen $a/s = 20, 30$ und 50 bei $l/i = 20$ Grenzwerte der Druckbeanspruchung von etwa 2800, 2500 und 2000 kg/cm^2 . Nach dieser Abbildung scheint es zunächst, als ob das

Wandstärkenverhältnis 20 am günstigsten sei. Dem ist jedoch nicht so, weil bei gleichen l/i -Werten die Querschnitte nicht gleich sind. Anschaulicher werden die Verhältnisse, wenn man nach Professor Wagners Vorschlag die Knickspannung über dem „Kennwert“ $|\overline{P}|$ aufträgt (s. Abb. 11b).

In dieser Darstellung wird der Euler-Bereich für die einzelnen Wandstärkenverhältnisse durch verschieden geneigte Graden dargestellt. Es ist sofort ersichtlich, daß z. B. für einen kleinen Wert $|\overline{P}|$ für das Profil mit $a/s = 50$ die Knickspannung etwa 50 v. H. höher liegt als bei $a/s = 20$, während bei größeren Kennwerten das kleinere Wandstärkenverhältnis günstiger wird.

Die Gefahr der örtlichen Einknickung dünnwandiger Querschnitte läßt sich herabsetzen, wenn man ebene

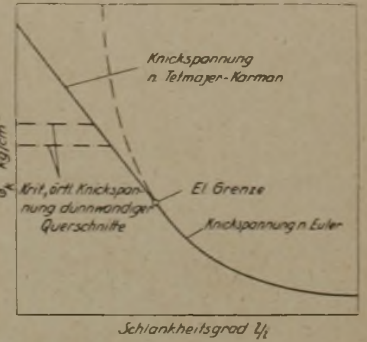


Abb. 10: Kritische Knickspannung in Abhängigkeit vom Schlankheitsgrad⁶⁾

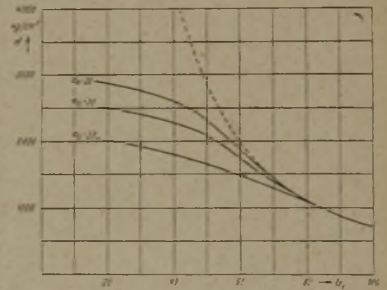


Abb. 11a

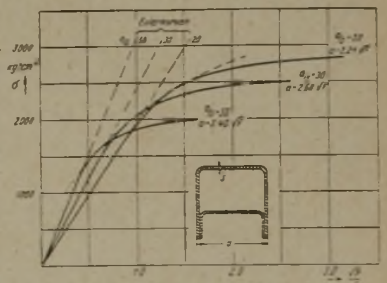


Abb. 11b

Abb. 11a und 11b: Einfluß des Wandstärkenverhältnisses auf die kritische örtliche Knickspannung⁷⁾

Flächen in den Wandungen der Bauteile möglichst vermeidet und die Krümmungsradien richtig wählt; denn für gewölbte Formen ist $\sigma_k = C \cdot E \cdot \frac{s}{r}$. Bei Ausführungsformen für auf Knickbiegung beanspruchte Flugzeugbauglieder, die in England beim Uebergang zu Stahlkonstruktionen entwickelt worden sind, ergaben sich infolge der höheren Festigkeit des schwereren Baustoffes besonders dünne Wandstärken. Die Wahl des Verhältnisses von Wandstärke zu Krümmungsradius ist also auch abhängig von der Art des verwendeten Baustoffes. Profile aus Duralumin mit ihren dickeren Wandstärken lassen größere Krümmungshalbmesser zu als dünnwandige Profile aus hochwertigen Stählen.

Auf eines ist allerdings bei der Konstruktion von Zuggliedern noch zu achten. Da rein statische Beanspruchungen bei Fahrzeugen kaum vorkommen, erhält jeder durch eine Stoßkraft auf Zug beanspruchte Stab beim Abklingen der dabei auftretenden Schwingung im nächsten Augenblick eine entgegengesetzt gerichtete Druckkraft, die u. U. bis zu $\frac{2}{3}$ der ersten Größe erreichen kann. Man sollte deshalb selbst alle auf Zug beanspruchten Glieder, sofern es sich nicht um Zugbeugendiagonalen handelt, bis zu einem gewissen Betrage auch druck- bzw. knickfest machen.

Zu c) Blechwand-Hohlkörper

Im Schiffbau ist es zur Erzielung eines ausreichend festen, wasserdichten und auch größeren örtlichen Beanspruchungen gewachsenen Schwimmkörpers nicht möglich, Fachwerksverbände mit nur — einer der Formgebung dienenden äußeren Hülle zu verwenden. Dasselbe trifft für Flugzeugschwimmer und Flugboote mit ihren großen lokalen Beanspruchungen durch den Wasserdruck zu. Sonst jedoch verwendet man beim Flugzeug Fachwerkkonstruktionen mit leichten, nur formgebenden Verkleidungen neben Sperrholz- oder Metallhohlkörpern mit tragender Haut nebeneinander. Doch auch im Flugzeugbau führten die Steigerung der Geschwindigkeit und die dadurch bedingten Forderungen nach möglichst großer Steifigkeit, guter Formgebung und Glätte der Oberfläche immer mehr zu volltragenden Blechwandhohlkörpern. Hinzu kommt bei sogenannten Schalenkörpern ein weiterer Vorteil: die gute Raumaussnutzung, da bei derartigen Konstruktionen die erforderliche Bauhöhe sehr gering ist, so daß der ganze durch die Außenhaut umschlossene Raum zur Innenverwendung als Fahrgastraum und dgl. zur Verfügung steht.

Die Aufgaben, die beim Bau solcher Hohlkörper zu lösen sind, sind folgende:

1. Durchleitung von Querkraften, Längskräften, Biege- und Drillmomenten;
2. Einleitung von Längs- und Querkraften;
3. Erfassung des Kräfteverlaufs in der Umgebung von Ausschnitten, Tür- und Fensteröffnungen;
4. Kräfteverteilung in Queraussteifungen, z. B. Schotten und Spanten.

Die erste Aufgabe, Durchleitung von Querkraften, führt auf das Problem des schubbeanspruchten Bleches. Betrachten wir zunächst die ebene, unverteifte, am Rand gestützte, rechteckige Platte, so stellen wir fest, daß diese allein geringe Steifigkeit hat und bereits bei verhältnismäßig geringer Schubbeanspruchung ein Ausbeulen und eine

Wellenbildung in diagonalen Faltenrichtung auftritt. Die „kritische“ Schubspannung ergibt sich dabei nach folgender Gleichung:

$$\tau_{Kr} = C \frac{E}{(2a/s)^2}$$

wenn $2a$ die Breite des Plattenstreifens und s seine Dicke bedeuten. Die Abb. 12 zeigt nach Versuchen für Duralumin, daß für $\frac{2a}{s} > 50$ die kritischen Spannungen stark abfallen. Dieser Wert entspricht etwa der Spannung an der Elastizitätsgrenze, die für diese Legierung etwa 1400 kg/cm^2 betrug. Das Anwachsen der Spannung im unelastischen Bereich geht nach anderen Gesetzen. Der Uebergang liegt bei einem um so niedrigeren Werte $\frac{2a}{s}$, je größere elastische

Formänderungen der Werkstoff zuläßt. Will man also leicht bauen, so darf die Trägerhöhe bei der unverteiften, auf Schub beanspruchten Platte für Duralumin beispielsweise nicht größer sein als das 40- bis 50fache der Wandstärke, wenn man die größten praktisch erreichbaren Schubspannungen ausnutzen will. Wird nämlich die Querkraft kleiner, so nimmt die Wandstärke unter Beibehaltung derselben Schubspannung ab, das Wandstärkeverhältnis wird größer, damit wird jedoch die kritische Schubspannung, bei der das Blech ausknickt, ganz erheblich kleiner. In diesen Fällen müssen dann Versteifungen oder besondere Formgebung vorgesehen werden, um die zulässige Spannung zu erhöhen. Diese Versteifungen werden im allgemeinen nur in zwei zueinander senkrechten Richtungen angeordnet. Auch für eine derartige Platte läßt sich für beliebige Festigkeitsverhältnisse der Längs- und Querträger die längs der Ränder gleichmäßig verteilte kritische Schublast berechnen (siehe Literaturverzeichnis).

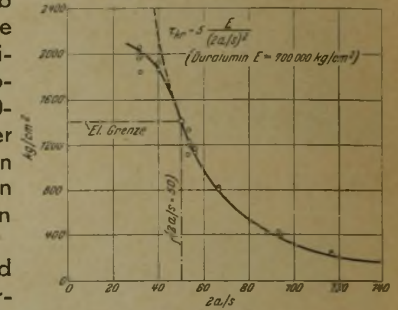


Abb. 12: Kritische Schubspannung einer ebenen, unverteiften, am ganzen Rande gestützten rechteckigen Platte

Wir haben bei den Fahrzeugen stark wechselnde Verhältnisse von Bauhöhe zu Querkraft bzw. Bauhöhe zu Wandstärke, so daß sich für die verschiedene Lastigkeit die Ausführungen von schubfesten Blechwandträgern nach Abb. 13 ergeben. Es ist also in jedem

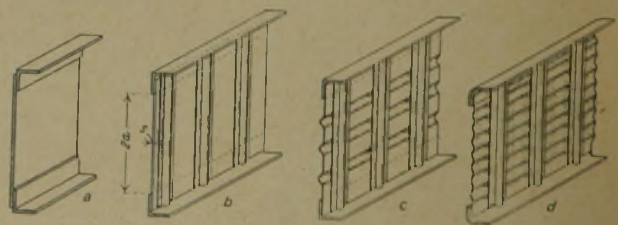


Abb. 13a—d: Die verschiedenen Ausführungen von schubfesten Blechwänden¹⁾

Fall zu unterscheiden, welche Bauweise für die Trägerhöhe unter den gegebenen Verhältnissen und unter Berücksichtigung der gleichzeitig auftretenden Biegemomente am zweckmäßigsten ist bzw. am leichtesten wird. Auf Grund der Aehnlichkeitsgesetze der Mechanik läßt sich nachweisen, daß für die Wahl der Konstruktion der „Kennwert“ $\frac{2a}{T}$, Bauhöhe zu Querkraft, maßgebend ist. Bei im Verhältnis zur Trägerhöhe

großer Querkraft, also kleinem Kennwert, kann das ebene schubfeste Blech verwandt werden. Mit Vergrößerung des Kennwertes müssen zusätzliche vertikale Versteifungen, Längssicken und durchgehende Wellung, verwandt werden. Die bei solchen Trägern auftretenden Verformungen zeigt Abb. 14 a bis c.

Der Flugzeugbau bevorzugt aus Gewichtsgründen die dünne Haut, welche nicht mehr ohne weiteres schub-

bedingten Verdrehungsbeanspruchung Falten in diagonalen Richtung bilden.

Abb. 16 zeigt einen Teil dieses Flügelkastenträgers bei einem Verdrehversuch. Man erkennt, wie bei genügend enger Aussteifung ein gleichmäßig verteiltes Zugdiagonalenfeld entsteht.

Die Richtung der Faltenbildung und die Beanspruchung der Konstruktion ist insbesondere für eben-

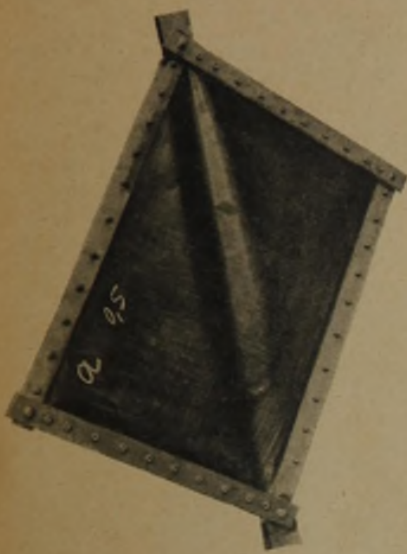


Abb. 14a: Schubversuch an ebenem Blech, Blechstärke $\delta = 0,5 \text{ mm}$, $IKr = 100 \text{ kg/cm}^2$

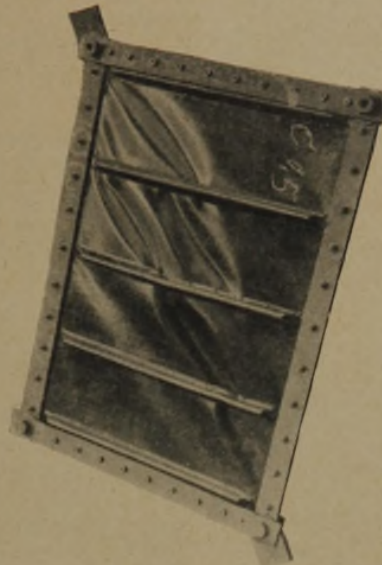


Abb. 14b: Zusätzliche vertikale Aussteifungen $\delta = 0,5 \text{ mm}$, $IKr = 240 \text{ kg/cm}^2$

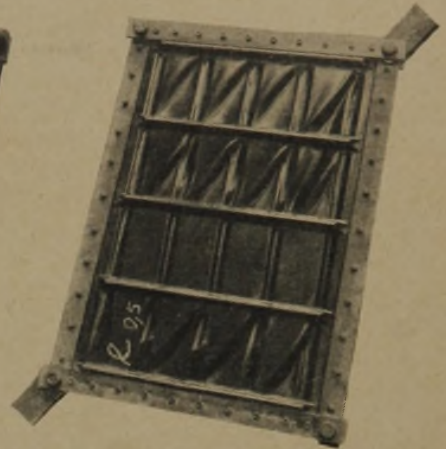


Abb. 14c: vertikale Aussteifungen eines Sicken $\delta = 0,5 \text{ mm}$, $IKr = 600 \text{ kg/cm}^2$

fest ist. Diese Bauweise, die in klarer Form erstmalig von Prof. Wagner bei Rohrbach verwirklicht wurde, baut auf der Erkenntnis auf, daß ein aus Längs- und Querstäben bestehendes System, das mit einem dünnen Blech bespannt wird, auch dann gegenüber allen möglichen Kraftwirkungen widerstandsfähig ist, wenn es sich in Falten legt und auf Zug beansprucht wird. Hierbei kann man diese Faltenbildung unbedenklich zulassen, da die dabei auftretenden Beanspruchungen durchaus noch im elastischen Bereich des Materials liegen und bei aufgehörender Belastung wieder zurückgehen.

Abb. 15 zeigt beispielsweise das Flugboot Rohrbach „Romar“ auf Bergungswagen an Land. Man erkennt deutlich, wie sich schon bei dieser ruhenden Belastung an der Unterseite des Flügelkastenträgers durch den einseitigen Angriff am Vorderende und der dadurch

flächige Hohlkörper, soweit es sich um Biegungs- oder Verdrehungsbeanspruchungen handelt, rechnerisch weitgehendst erforscht. Hierbei hat die Berechnung für solche ebenflächigen Konstruktionen mit der Fachwerksberechnung einige Ähnlichkeit. Es können jedoch auch runde Bauformen nach diesen Richtlinien ausgeführt werden, wobei allerdings mit dem Auftreten der Faltenbildung durch die Umleitung der in den Zugdiagonalen auftretenden Kräfte sehr hohe Beanspruchungen der Querspanten verbunden sind. Weiter muß noch darauf hingewiesen werden, daß Konstruktionseinzelheiten, wie Erleichterungslöcher, nicht ohne weiteres vom schubfesten Blech übernommen werden dürfen.

Die Durchleitung von Längskräften führt auf das Problem von auf Zug oder Druck beanspruchten Konstruktionselementen. Die Aufnahme einer Zugbeanspruchung ist derartig klar, daß hierüber nichts



Abb. 15: Flugboot Rohrbach „Romar“

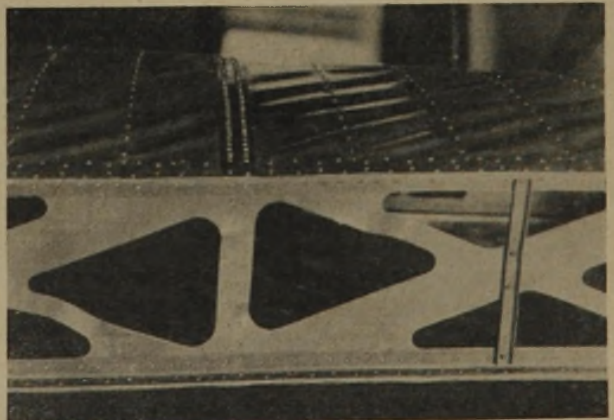


Abb. 16: Flügelkastenträger der „Romar“

zu sagen ist. Für die auf Druck oder Knickung beanspruchten Bauglieder gilt dasselbe, was vorhin über Druckstäbe im Fachwerk gesagt wurde. Nur ist zu beachten, daß die Stäbe jetzt in einer Blechhaut gehalten sind, die einmal ein seitliches Ausweichen verhindert, zum anderen als mittragendes Element zunächst im Bereiche des Profils in Erscheinung tritt.

Darüber hinaus bemüht man sich nun, bei Blechwandhohlkörpern die Haut selbst in möglichst großem Umfange für diese Art der Beanspruchung zum Tragen mit heranzuziehen. Dies führt auf die Probleme der Schalenknickung. Grundsätzlich ist es möglich, einen solchen Blechwandhohlkörper ohne Versteifungen zu bauen, jedoch ist diese Bauweise zur Aufnahme der tatsächlich auftretenden Kräfte ungeeignet und im allgemeinen nur anwendbar, wenn das Verhältnis $\frac{d}{r} > 25$ ist*), wobei d die Druckkraft je cm

des Umfanges ist und r den Krümmungsradius darstellt. Bei üblichen Konstruktionen ist dieser Kennwert kleiner, so daß es im allgemeinen nötig ist, Versteifungen einzubauen. Hierbei läßt sich nachweisen, daß ein nur in einer Richtung, also nur in Längsrichtung oder nur in Umfangsrichtung versteifter Hohlkörper, sofern er halbwegs lang ist, kaum mehr hält als ein unversteifter. Um die Beanspruchungsfähigkeit eines solchen Körpers zu erhöhen, ist es deshalb erforderlich, Versteifungen in beiden Richtungen vorzusehen. Wir haben dann ein Stabsystem aus Längsversteifungen und Spanten mit einer darübergelegten, mittragenden Haut. Neben der Frage der Knickfestigkeit der in der Haut gehaltenen und durch die Haut versteiften Profile sind hier die Fragen des Mittragens bzw. die Feststellung der Grenze des Ausbeulens der Haut zu behandeln. Solche Konstruktionen werden „Schalenbauweise“ genannt, die also dadurch gekennzeichnet ist, daß die Haut nicht nur als Verkleidung dient, sondern daß sie, soweit wie möglich, zum Tragen herangezogen wird. Hierbei gehen die Grenzen zwischen den verschiedenartigsten Konstruktionen ineinander über. Ein Grenzfall des Schalenrumpfes liegt z. B. bereits vor, wenn für die Längsspannungen nur Gurtungen in wenigen, meistens vier Punkten, vorgesehen werden und die zwischen ihnen liegende Haut im wesentlichen nur zur Aufnahme der Schubbeanspruchungen dient, wobei sie allenfalls zur Erhöhung ihrer Schubsteifigkeit durch zwischen den Gurtungen angeordnete Längsversteifungen ausgesteift sein kann.

Da das Verkleidungsblech immer einen erheblichen Teil des Gesamtgewichtes ausmachen wird, wird man sich immer bemühen, es verhältnismäßig dünn zu machen, es im allgemeinen also zulassen, daß die Haut zwischen den Längs- und Querversteifungen vor Erreichen der Bruchlast ausbeult. Es ist nicht das besondere Kennzeichen eines Schalenkörpers, daß solche Ausbeulungen nicht zugelassen werden. Ob die Anordnung einer beulsteifen oder nicht bis zur Bruchlast beulsteifen Haut zweckmäßig ist, hängt vom Kennwert der Konstruktion, also von der durch Bauhöhe und Belastung bestimmten Umfangsbelastung und der Krümmung der Haut ab.

Die Frage der Aufnahme der Biege- und Drillmomente führt auf die beiden vorgenannten Probleme zurück, da bei Biegebeanspruchungen der Bruch im allgemeinen dadurch erfolgt, daß die Schale in der Druckzone unter einer Biege-Druckspannung örtlich ausbeult. Hierfür ist vorwiegend die an dieser Stelle vorhandene größte Druckspannung und die Krümmung der Konstruktion maßgebend. Des-

halb kann die Stabilität der Konstruktion an dieser Stelle weitest gehend aus Versuchen mit rein auf Druck beanspruchten Schalenelementen hergeleitet werden. Die Aufnahme der Drillmomente führt auf die Probleme schubbeanspruchter, ebener oder gekrümmter, in beiden Richtungen versteifter Bleche zurück. Im einzelnen muß ich hier auf die in der Luftfahrt vorhandene Literatur verweisen und will die verschiedenen Lösungsmöglichkeiten am Schluß lediglich an Hand von verschiedenen Konstruktionen besprechen.

Ueber die Einleitung von Längs- und Querkräften ist grundsätzlich folgendes zu sagen:

Es läßt sich nachweisen, daß für die Einleitung von Längskräften in Schalenkörpern außer entsprechenden Längssteifen grundsätzlich zwei Querspannringe erforderlich sind. Für die Aufnahme von Querkräften genügt im Prinzip ein Spant. Hierbei ist besonders wichtig die Aufnahme örtlich konzentrierter, großer Lasten, wie beispielsweise Motoranschlußkräfte, Fahrgestellkräfte, Flügelkräfte, Sporn- und Leitwerkskräfte im Flugzeugbau, die Uebertragung und Weiterleitung des örtlichen Wasserdruckes, der Motorlagerungskräfte usw. im Schiffbau, die Einleitung und Weiterführung örtlich konzentrierter Kräfte einzeln aufgehängter Räder, der Drehgestell-Lagerung, Pufferkräfte usw. beim Fahrzeugbau. Man wird an diesen Stellen besonders kräftig dimensionierte Hauptspanten, z. T. als Rahmenspanten, z. T. als blechbeplankte, sogenannte Schotten, ausführen. Manchmal ist die Berechnung solcher Aussteifungen nicht ganz einfach, da sie z. T. mehrfach statisch unbestimmt sind und ihr Gewichtsanteil relativ groß ist. Es ist deshalb wichtig, die Berechnungsmethoden für solche Bauteile durchzubilden und z. T. durch Versuche zu prüfen. Abb. 17 zeigt beispielsweise den Hauptspant eines großen Flugbootes.

Der Kraftverlauf in der Umgebung von Ausschnitten bedarf ganz besonderer Aufmerksamkeit. Es wurde bisher auch als ein Nachteil der Schalenrümpfe angesehen, daß es wesentlich schwieriger sei, in ihnen Öffnungen für Türen, Fenster usw. anzubringen. Mit den heute vorhandenen Berechnungsunterlagen ist es jedoch durchaus möglich, solche Ausschnitte ohne wesentliche Mehrgewichte in einen tragenden Schalenkörper einzubauen. Bei kleineren Ausschnitten wird es genügen, diese durch einen entsprechenden Rahmen zu verstärken, bei größeren Ausschnitten braucht man mindestens drei Ebenen, um die Kräfte, als da sind Biegemomente, Querkräfte und Torsionsmomente, durchzuleiten. An Stelle der sonst gleichmäßig über den Schalenkörperumfang verteilten Längsprofile ist man gezwungen, zur Aufnahme der Biegemomente im allgemeinen zu vier Gurtungen

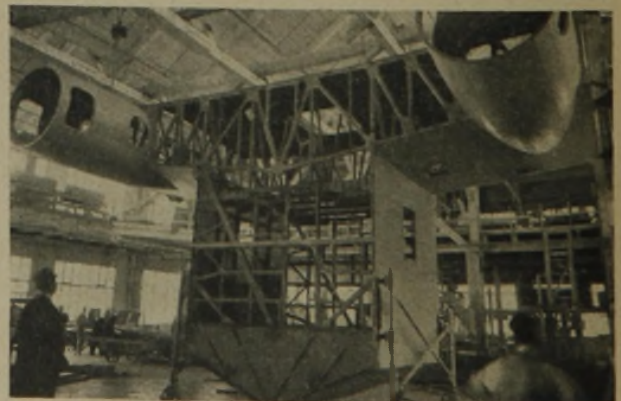


Abb. 17: Hauptspante des Flugbootes Boeing „Clipper“^{*)}

*) S. Lesrlner, Sonderheft 1935, S. 18.

oder sogenannten Holmen überzugehen. Die Verdrehmomente werden in diesem Bereich im allgemeinen durch antisymmetrische Kräftepaare aufgenommen. Hierbei kann es erforderlich werden, für die Umleitung der Kräfte vor und hinter solchen Ausschnitten entsprechend ausgebildete Rahmen- oder Schottspanten, evtl. verstärkte Schubbleche, anzuordnen, andererseits ist zur Einleitung der Gurtkräfte in die eigentliche Schale eine gewisse Verteilungslänge erforderlich.

Die vorstehenden Ausführungen möchte ich noch an Hand einer Reihe von Beispielen erläutern:

Die nicht schubfeste Haut gibt es wohl nur im Flugzeugbau (s. Abb. 18).

Die Möglichkeiten, die Haut durch Aussteifung schubfester zu machen, zeigen die Abb. 19 und 20.



Abb. 18: zeigt das Innere des Rumpfes des Flugbootes Rohrbach „Rocco“¹⁹⁾

Scheergangs- sowie Eckpartien in gewissem Umfang drucksteif. Im allgemeinen ergibt sogar hier das reine Querspannsystem die leichtere Bauart (Abb. 21 bis 28).

Im Fahrzeugbau steckt die Anwendung der Schalenbauweise noch in den Anfängen. Abb. 29 zeigt meines Wissens die erste und bisher in Deutschland einzige konsequente Blechwandhohlkörper-Bauweise eines schub-, druck- und torsionssteifen Eisenbahnfahrzeuges, einen Triebwagenzug, den ich in den Jahren 1932 bis 1935 zusammen mit der Düsseldorfer Waggonfabrik für die Centralverwaltung für Secundaireisenbahnen H. Bachstein konstruierte und baute. Der Zug fährt auf der Strecke Weimar—Berka—Blankenhain. Ich muß dabei folgende Tatsachen erwähnen:



Abb. 19: Dornier „Merkur“¹⁸⁾

Werkfoto

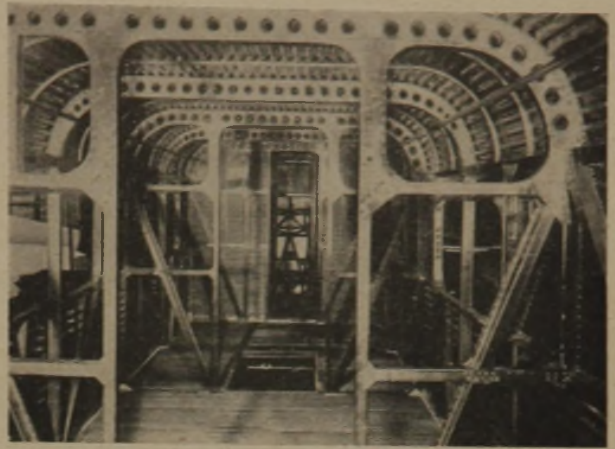


Abb. 20: Rumpf der Junkers G 31¹¹⁾

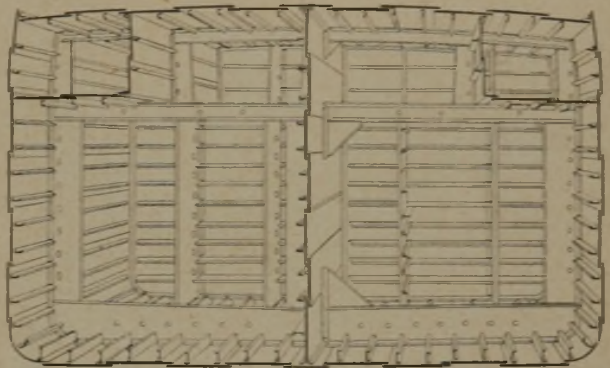


Abb. 21: zeigt eine Konstruktion, die nach dem ersten Erbauer „Ishewood-System“ genannt wird und nach heutiger Auffassung als Schalenbauweise anzusprechen ist. (Jahrbuch d. Schiffsbautechn. Ges. 28. Bd. 1927, S. 489).

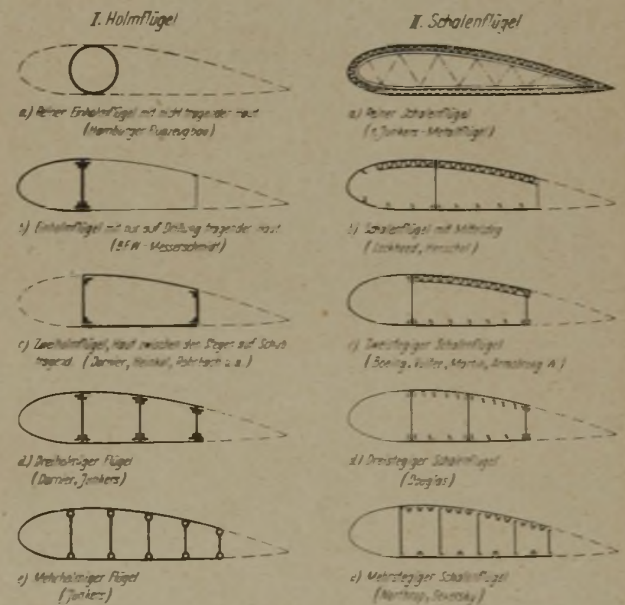


Abb. 22: zeigt die Ausbildung von Flugzeugflügeln, insbesondere den Uebergang vom reinen Holmflügel über Kastenträger zur Schalenbauweise

Der Beginn meiner Arbeiten in dieser Richtung liegt fast 10 Jahre zurück. Ein Patent von mir (Nr. 627 722) läuft seit dem 8. Februar 1930! Eine ausführliche Darstellung meiner Ideen auf dem Gebiete des Fahrzeugbaues ist in der „Verkehrstechnik“, Heft 24a 1932, zu finden.

Daß man diese Idee damals für neuartig hielt, ist daraus zu ersehen, daß ich bei dieser Patentanmeldung von keiner deutschen Waggonfabrik einen Einspruch

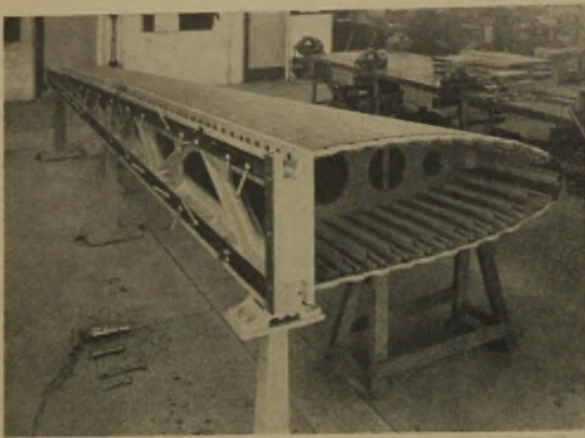
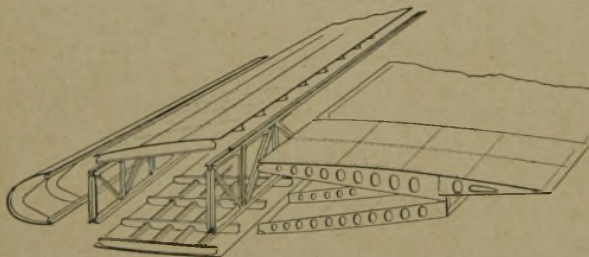
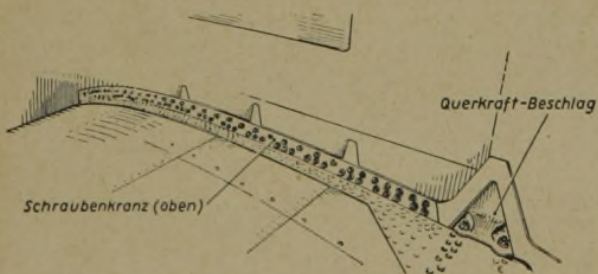
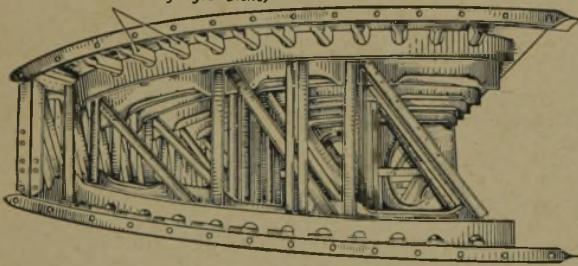


Abb. 23: Einstiegender Schalenflügel der Henschel-Flugzeugwerke¹²⁾
Werkfoto



Längsverstärkungen
(aus Blechen mit verjüngter Dicke)



Schraubenkranz (oben)

Querkraft-Beschlag

Abb. 24 (1., 2., 3.): Focke-Wulff FW 200 „Kondor“¹³⁾

erhielt. Es mag ja vielleicht auch daran gelegen haben, daß man meine Vorschläge damals noch für unausführbar hielt. Alle Bemühungen, diese Idee durchzusetzen, schienen vergeblich zu sein. Niemand glaubte, daß es möglich sei, ein Schienenfahrzeug aus 1 mm starkem Blech, ohne schweres Untergestell, zu bauen. Vielleicht wären dies alles schöne Ideen geblieben, wenn ich nicht einen Mann gefunden hätte, der den Mut hatte, einen Wagen in Auftrag zu geben. Es ist mir eine große Freude, daß ich auch an dieser Stelle dem technischen Leiter der Secundairbahnen H. Bachstein, Herrn Regierungsbaumeister Ahrens, meinen Dank aussprechen darf. Mein Dank gebührt auch der Baufirma, der Düsseldorfer Waggonfabrik.

Wie Abb. 30 zeigt, ist die Wagenkastenwand im Dach und ebenso in den Seitenwänden durch längslaufende

Sicken ausgesteift. Der Boden besteht aus Wellblech von 1 mm Wandstärke. Dach und Seitenwände sind nach dem Querkraft- und Biegemomenteverlauf abgestuft, 1 bis 1½ mm stark. Ich hätte die Entfernung der Sicken gerne noch etwas geringer gemacht, um eine noch größere Knickfestigkeit zu erreichen. Mit Rücksicht auf Wünsche der Werkstatt mußte ich jedoch bei dieser Erstausführung darauf verzichten. Ebenso hat dieser Wagenzug noch zwei leichte, in der Abbildung nicht sichtbare untere Längsträger, die die Werkstatt aus schweißtechnischen Gründen als seillichen Abschluß des Bodens verlangte, da sie Dach, Seitenwände und Boden zunächst für sich herstellen und später erst zusammenbauen wollte. Man beachte auch die Gestaltung der tragenden Endquerwände! Außer diesen hat der ganze Wagen nur kräftige Rahmenspannen an den in der Mitte, also der Stelle kleinster Querkraft, liegenden Türen. Allein

das Fußboden-Wellblech von 1 mm Stärke trägt auf die Breite von 3 m mit einem Querschnitt von 40 cm², wenn wir einmal annehmen, daß es schon bei 2000 kg/cm² örtlich ausbeulen würde, dann schon 80 000 kg auf Druck. Es ist kein Problem, in ein solches

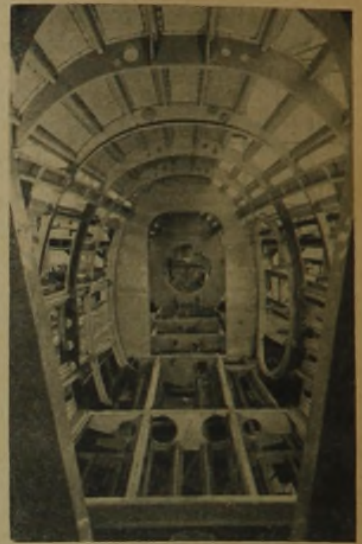


Abb. 25: Rumpf der Junkers Ju 160¹⁴⁾
Werkfoto JFM.



Abb. 26: Schalenrumpf der Junkers Ju 90 im Baugerüst¹⁵⁾
Werkfoto JFM.

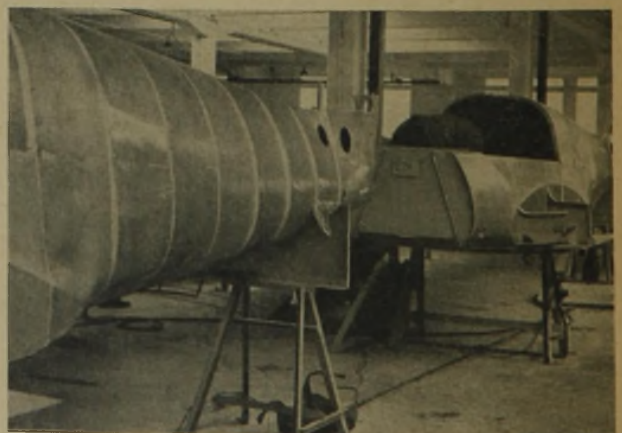


Abb. 27 (nähere Angabe s. Abb. 28)

Werkfoto BFW.

Wellblech Pufferkräfte einzuleiten, wenn man es versteht und richtig macht. Ich glaube, daß damit jedes Argument für die Notwendigkeit schwerer, unterer Langträger, auch für hintereinandergekuppelte Wagen, hinfällig ist; denn hinzu kommt ja auch noch die teilweise vorhandene Druckfestigkeit der versteiften Seitenwände und des Daches, was insgesamt wohl eine bisher unerreichte Sicherung für die Passagiere bedeutet (Abb. 31).



Abb. 27 und 28 zeigen eine besonders bemerkenswerte Bauweise der Bayrischen Flugzeugwerke an der Messerschmitt-Taifun¹⁴⁾ Werkfoto BFW.

Einen kleinen Neben-erfolg möchte ich nicht unerwähnt lassen. Wie Schweißversuche zeigen, hatte bei diesen Versuchen unter gleichen Bedingungen ein glattes Blech von 1½ mm Wandstärke Beulen bis zu 8 mm. Das gesickte Blech von nur ½ mm Wandstärke blieb vollkommen glatt, da Schweißspannungen sich in den Sicken ausgleichen können.

Auf Grund des Erfolges dieses ersten Zuges ist ein zweiter Zug bestellt worden und zur Zeit im Bau.

Auf die Frage, welche Bauweise nun im einzelnen Fall die gewichtlich günstigste ist, kann ich heute nicht mehr eingehen. Ebenso muß ich es mir versagen, die Frage des zu verwendenden Baustoffes zu be-



Abb. 29: Dieselelektrischer Triebwagenzug der Weimar-Berka-Blankenhainer Eisenbahn, Konstruktion Dr.-Ing. Croseck DRP. 627 722 Werkfoto: Düsseldorfer Waggonfabrik

¹⁾ Der rohrförmige Holm nimmt sämtliche Querkräfte-, Biege- und Drehmomente auf, während die darübergestreiften Rippen nur rein örtlich die Luftkräfte auf den Holm übertragen. Rechts vom Rumpflende die Außenflügelansätze. Werkbild (Flugsport Nr. 22, 1937 S. 619)

²⁾ Man erkennt die stärkeren Verbundrippen und die leichteren Formrippen. Stoffbespannung. Schieberverband durch Drahtauskreuzung.

³⁾ Die Haut dient nur als Verkleidung des Fachwerks in den Seitenwänden. (S. A. E. Journal Febr. 1933 S. 58).

⁴⁾ Stahlrohrfachwerk als tragender Verband, darüber nichttragende Formverkleidung aus Holz und Stoff (Flugsport Nr. 18 S. 399).

⁵⁾ Stahlrohrfachwerk mit Druckstreifen diagonalen bzw. doppelten Drahtauskreuzungen. Formverband aus Holz und Stoff. Eine Konstruktion, die wegen der geringen örtlichen Festigkeit für den Fahrzeugbau nicht anwendbar ist.

⁶⁾ Abb. aus Croseck, Die Anwendung der Grundsätze des Leichtbaus auf den Fahrzeugbau (Verkehrstechnik 24a vom 24. 9. 32 S. 537).

⁷⁾ a) Querkraft sehr groß im Verhältnis Trägerhöhe 2a/s sehr klein; b—d) Die Querkraft wird bei konstanter Trägerhöhe kleiner, also 2a/s größer. Um eine genügend hohe kritische Schubbeanspruchung zu erhalten, werden Versteifungen, Sicken oder Wellung erforderlich.

⁸⁾ Diese beiden Spante nehmen über Vorder- und Hinterholm des Flügels die gesamten Flügelkräfte auf, außerdem die Kräfte für den Landtransport.

⁹⁾ Man erkennt die ebenfalls als Zugdiagonalenfelder gebauten hohen Bodenwangen zur Aufnahme des Wasserdrucks bei Start und Landung. Die durch Spanten quer ausgesteifte Haut ist nicht schubfest. Die aus den Haut-Zug-Diagonalen herrührenden Längskomponenten werden durch 4 kräftige Eckholme aufgenommen, ebenso die aus dem Biegemoment herrührenden Zug- und Druckkräfte.

¹⁰⁾ Der Rumpfqerschnitt ist ebenfalls ein ebenflächiges Viereck mit Eckholmen und durch einige außen aufgesetzte längslaufende Hutprofile ausgesteift. Haut am Leitwerk durch Sicken versteift.

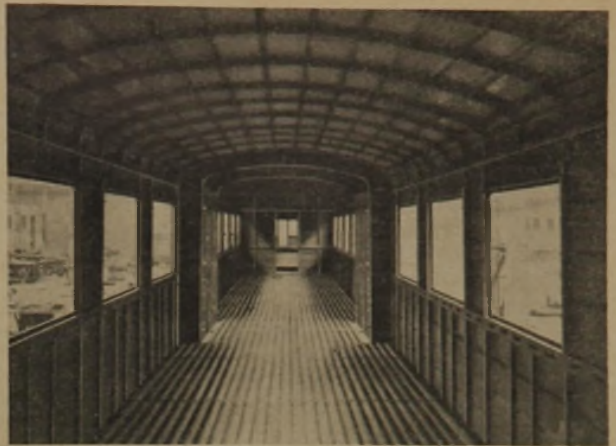


Abb. 30: Innenansicht der Schalenkonstruktion des Triebwagenzuges der Werkfoto: Düsseldorfer Waggonfabrik



Abb. 31: Blick in den Personenwagen / Werkfoto: Düsseid. Waggonfabrik

handeln, da diese Themen einen zweiten Vortrag füllen würden.

Ich hoffe aber, gezeigt zu haben, wie vieles Gemeinsame Fahrzeugbau, Schiffbau und Flugzeugbau haben, und daß der eine vom anderen vielleicht manches lernen kann. Vor allem glaube ich jedoch, daß es nun an der Zeit ist, daß der Fahrzeugbau etwas vom Flugzeugbau lernt. Gewiß kann man für die andersgearteten Bedingungen nicht einfach kritiklos alles übernehmen, aber sinngemäß übertragen und anwenden kann man vieles.

¹¹⁾ Haut durch Wellung schubsteif und in gewissem Umfang bereits drucksteif. Uebergang zum Schalenrumpf. Man beachte auch die Ausbildung der Queraussteifungen und Schotten.

¹²⁾ Baumuster Hs 124 mit gepreßten Rippen in größeren Abständen und durchlaufenden Längsprofilen. Holm-Fachwerkträger.

¹³⁾ 1. Außenflügel (Schema des Aufbaues) die tragenden Hauptteile, Hauptholm, Vorderholm, obere und untere Beplankung, abklappbare Nasenschale sowie die Endrippen sind einzeln dargestellt. 2. Flügelmittelfstück, tragender Teil. Die Beplankung sowie die Längsversteifungsprofile sind zum Teil zwecks Gewichtersparnis und entsprechend dem Kräfteverlauf aus keiligen Blechen hergestellt. Als Rippen werden genietete Fachwerkrippen und z. T. verstärkte Vollwandrippen verwendet. Diese werden in einem Arbeitsgang mittels Gummipreßverfahren hergestellt. 3. Anschlußflügel-Rumpf. Abgesehen von dem durch den Rumpf gehenden Hauptholm sowie dem am Rumpf gelenkig angeschlossenen Nasenholm ist die Flügelbeplankung zwischen den Holmen durch einen Schraubenkranz mit der Rumpfschale zur Uebertragung der Flügelkräfte verbunden. Die Uebergangsstelle wird durch Elektrobleche verkleidet.

¹⁴⁾ Längsversteifungen aus geschlossenen Hutprofilen, Spanten aus hohen Z-Profilen mit Ausschnitten. Verbindung beider an der Durchdringungsstelle durch halbkreisförmige Blechpreßstücke; in diesem mit Ausschnitten versehenen Bereich besonders verstärkte Eckholme.

¹⁵⁾ Beplattung des Rumpfes. Vereinfachung des Baues durch teilweise zylindrische Form.

¹⁶⁾ Die Haut wird aus einzelnen Halbschalen aufgebaut, die an einem Ende zu einem Z-Profil umbördelt werden. Diese Umbördelung bilden gleichzeitig die Spanten, die zur Durchführung der U-Längsprofile noch ausgespart werden. Beim Zusammenbau werden erst die Halbschalen jeder Seite miteinander vernietet und die Längsprofile eingezogen. Zum Schluß werden die beiden Halbschalen oben und unten durch ein breites Abschlußprofil miteinander verbunden.

Die unter der Bezeichnung Leichtbau bekannte Bauweise wird auf den verschiedensten Gebieten, bei der Herstellung von Bauwerken, Maschinen und Geräten mit bestem Erfolg angewendet. Die Entwicklung der Leichtbauweise ist einer engen Zusammenarbeit zwischen Konstrukteuren, Betriebs- und Werkstoffleuten zu danken, denn die Wirtschaftlichkeit und die Bewährung einer Leichtbaukonstruktion ist ebenso abhängig von der Formgebung durch den Konstrukteur wie von der Werkstoffarbeit des Betriebsmannes und von dem Werkstoff, den der Werkstofffachmann empfiehlt. Im nachfolgenden wird aus dem Arbeitsgebiet des letzteren, des Werkstofffachmannes, berichtet, und zwar über die im Leichtbau gebräuchlichsten Stähle.

Das Nächstliegende zur Erzielung einer Gewichtsersparnis ist die Verwendung von Stählen mit höherer Festigkeit. Dieser Gedanke ist aber nicht neu und entspricht im Grunde auch nicht dem Wesen des Leichtbaus. Es steht vielmehr bei der Leichtbauweise einmal die Entwicklung neuer Formgebung und zum anderen die Art der Verbindung der einzelnen Bauteile untereinander weitaus im Vordergrund. Jeder einzelne Bauteil hat äußere Kräfte aufzunehmen und zu übertragen. Es muß somit nicht nur für das Gesamttragwerk, sondern für jedes seiner Einzelteile die Formgebung und Verbindungsart gefunden und angewendet werden, die mit geringstem Werkstoffaufwand die verlangte Sicherheit des Bauwerkes gewährleistet. Im Leichtbau ist es nicht nur die Werkstofffestigkeit, sondern die Gestaltfestigkeit eines Konstruktionsteiles, die die Bewährung in der Praxis ausmacht. Hieraus ergibt sich für den Werkstofffachmann nicht allein die Fragestellung nach Stählen mit möglichst hohen Festigkeitseigenschaften, sondern er wird nach der jeweiligen Beanspruchungsart und der Verarbeitung in der Werkstatt als ebenso wichtige Merkmale für den Stahl eine gute Schweißbarkeit, Alterungsbeständigkeit, Dauerfestigkeit, Kaltverformbarkeit und Korrosionsbeständigkeit berücksichtigen müssen. Auch darf er die Werkstoff- und Bearbeitungskosten für den von ihm empfohlenen Stahl nicht als nebensächlich behandeln: denn Leichtbauweise erstrebt — mit wenigen Ausnahmen — größte Gewichts- und gleichzeitig Kostenersparnis.

Nun gibt es leider bis jetzt keinen Stahl, dem alle gewünschten Eigenschaften im geforderten hohen Maße zu eigen sind. Man wird sich in der einen oder der anderen Anforderung beschränken müssen, um besondere Eigenarten der verschiedenen Stähle, die durch die Leichtbauweise bevorzugt ausgenutzt werden können, bestens zur Verfügung zu haben. Aus diesem Grunde mag es für den auf diesem Gebiete weniger gut unterrichteten Techniker als ein Mangel an Unterstützung durch den Werkstofffachmann erscheinen, wenn er hört, daß im Leichtbau fast nur weiche Stähle bis höchstens Stähle mit mittlerer Festigkeit zur Verwendung kommen. Gerade diese Stähle sind es jedoch, welche den vielseitigen Anforderungen der Leichtbauweise am besten gerecht werden.

Im Leichtbau wird angestrebt, jeden Querschnitt der Konstruktionsteile der ihnen zugeordneten Belastungshöhe anzupassen, um so weitgehendste Ausnutzung der Werkstoffe bei ge-

ringstem Werkstoffaufwand zu erreichen. Dies war nur dadurch möglich, daß der Konstrukteur neue Wege beschritt, indem er einmal der Beanspruchungsart angepaßte Sonderprofile schuf und zum anderen Schweißverbindungen bevorzugt anwendete. Derartige Sonderprofile lassen sich durch Walzen, Schmieden oder Gießen im allgemeinen weder wirtschaftlich noch technisch herstellen, sondern sie werden aus kaltgeschnittenen oder herausgebrannten Formblechen mit nachfolgender Kaltbearbeitung auf Abkantmaschinen oder Gesenkpresen gewonnen. Solche Verarbeitung verlangt von dem Stahl, daß er sich gut schneiden und brennen läßt und eine hohe Kaltverformbarkeit besitzt. Auch muß er sich durch die verschiedenen Schweißarten leicht verbinden lassen, ohne dabei an den geschweißten Stellen durch zu hohe Aufhärtung oder Schweißrissigkeit die Verbindung nachteilig zu beeinflussen. Die Veränderung der Eigenschaften der Stähle durch die Schweißhitze tritt um so mehr hervor, je mehr die Stähle durch ihre chemische Zusammensetzung zu Gefügeänderungen bei Warmbehandlungen neigen. Ohne nachträgliche Warmbehandlung, die in den meisten Fällen nicht durchführbar ist, wird es wohl nie erreicht werden, daß Schweißzone und Grundwerkstoff gleichen Gefügeaufbau und damit gleiche Eigenschaften aufweisen; aber diesem Ziel kommen die weichen Stähle am nächsten.

Häufig wird man auf eine gewisse Alterungsbeständigkeit der Stähle nicht verzichten können. Bekanntlich sinkt die Kerbschlagzähigkeit bei einer Reihe von weichen Stählen und solchen mit mittlerer Festigkeit nach einer Kaltverformung von mehr als 4—5% nach einiger Zeit oder nach Erwärmung sofort auf sehr niedrige Werte herab. Man bezeichnet diese Erscheinung mit Alterung. Der Alterungsbeständigkeit der Stähle wird dann besondere Beachtung geschenkt werden müssen, wenn schlagartige Beanspruchungen von dem Bauteil aufzunehmen sind. — Weiterhin ist bei schlagartigen Beanspruchungen allgemein zu beachten, daß zähe Stähle die aufzunehmende Schlagarbeit durch plastische Verformungen vernichten können, während spröde Stähle bei der gleichen Beanspruchung schon zu Bruch gehen; selbstverständlich sind bei gleicher Zähigkeit die Stähle mit höherer Festigkeit die besser geeigneten.

Bei allen Konstruktionsteilen und Bauwerken mit dynamischer Beanspruchung — ob mit oder ohne Vorlast — ist die Dauerfestigkeit der Stähle von maßgebender Bedeutung. Bei Dauerversuchen an glatten Probestäben verschiedener Werkstoffe erhöht sich die Dauerfestigkeit mit zunehmender statischer Festigkeit. Als Beispiel sind in Abb. 1 die Dauerfestigkeiten von St 37 und St 52 bei verschiedenen statischen Vorspannungen wiedergegeben. Diese Zunahme der Dauerfestigkeit tritt jedoch in dem Maße nicht mehr auf, wenn durch Kerben, durch scharfe Querschnittsübergänge oder durch Korrosionsangriff Ungleichmäßigkeiten in der Spannungsverteilung verursacht werden. Aus dieser Tatsache ergibt sich die insbesondere in der Gegenwart überaus wichtige Folgerung, daß bei günstiger Formgebung und Korrosionsschutz an einer Konstruktion aus einem weichen, unlegierten Stahl zumindest die gleiche Dauerfestigkeit erreicht werden kann wie bei Verwendung eines Stahles mit hoher Festigkeit, aber ungeeigneter Formgebung.

^{*)} Werkfotos: Friedrich-Alfred-Hütte, Rheinhausen

Bei der Bekämpfung der Korrosion wird man sich meistens mit zweckentsprechenden Schutzanstrichen begnügen müssen und nur in Sonderfällen die korrosionsbeständigen Stähle verwenden. Von letzteren ist der mit 18% Chrom und 8% Nickel der bekann-

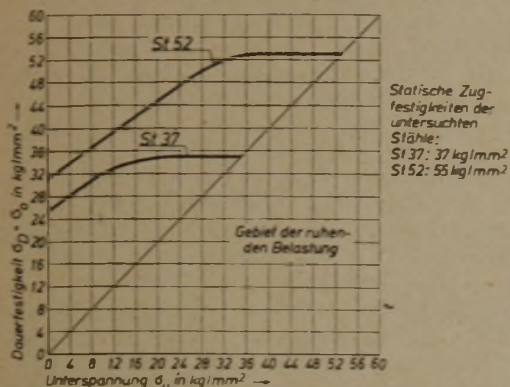


Abb. 1: Dauerfestigkeiten von St 37 und St 52 in Abhängigkeit von der ruhenden Belastung

teste und bestens eingeführte Stahl. Er steht unbestritten an erster Stelle in bezug auf Korrosionswiderstand, Verformbarkeit und Schweißbarkeit. Stähle wie die Chrom-Mangan-Stähle, bei denen der Chromgehalt ebenfalls etwa 18% beträgt, bei denen aber Nickel ganz oder teilweise durch Mangan ersetzt wird, oder Chromstähle mit 12—18% können nur teilweise an Stelle von Chromnickelstahl 18/8 verwendet werden. Die mit Kupfer, Nickel, Chrom oder Phosphor in geringer Menge legierten Stähle weisen eine so kleine Erhöhung des Korrosionswiderstandes gegenüber den unlegierten Stählen auf, daß sie wie diese gegen das Rosten geschützt werden müssen. In neuerer Zeit sind Bleche mit Auflagen von korrosionsbeständigen Stählen oder Metallen wie Kupfer, Nickel und Aluminium mit gutem Erfolg zur Anwendung gekommen. Solche plattierten Bleche ergeben eine wesentliche Ersparnis an teuren Legierungselementen, weniger eine Kostenersparnis, denn die Herstellung und Verarbeitung ist nicht einfach.

Nach dieser Erörterung der allgemeinen Anforderungen, die im Leichtbau an die Stähle vorzugsweise gestellt werden, wird im nachfolgenden über die verschiedenen Stähle, in Gruppen nach ihren Anwendungsgebieten zusammengefaßt, berichtet.

In das große Anwendungsgebiet des Leichtbaues, beim Hoch- und Brückenbau, Maschinenbau, Fahrzeugbau und Schiffbau, haben ausgesprochene Sonderstähle bisher keinen

Eingang gefunden. Man hat für den Leichtbau diejenigen Stähle übernommen, die sich für die bisher üblichen Bauweisen bewährt haben. Die richtunggebenden Vertreter sind in der Zahlentafel 1 aufgeführt. Es handelt sich um Stähle bis zu 64 kg/mm^2 Zerreißfestigkeit. Von diesen sind lediglich die Baustähle St 52 schwach legiert. Ueber die vor 10—15 Jahren eingeführten Baustähle St 48 mit etwa 0,30% Kohlenstoff und den Siliziumbaustahl St Si mit etwa

Zahlentafel 2

Bezeichnung		Kerbschlagzähigkeit in mkg/cm^2		Prozentualer Abfall der Kerbschlagzähigkeit
		nicht gealtert	gealtert	
ST 37	alterungsempfindlich	16—20	1—3	90%
ST 37	alterungsunempfindlich	15—22	12—18	~25%
ST 52		12—18	6—8	~50%

Probenform:

Querschnitt $10 \times 10 \text{ mm}$
Bruchquerschnitt $7 \times 10 \text{ mm}$
Kerbdurchmesser 2 mm \varnothing

Kerbschlagzähigkeit von St 37 u. St 52

0,20% Kohlenstoff und etwa 0,80% Silizium ist die Entwicklung hinweggeschritten. — Die durch die Deutsche Reichsbahn zugelassenen Baustähle St 52 besitzen eine ausreichende Alterungsbeständigkeit; dagegen werden die Baustähle St 37.11, St 42.11 und

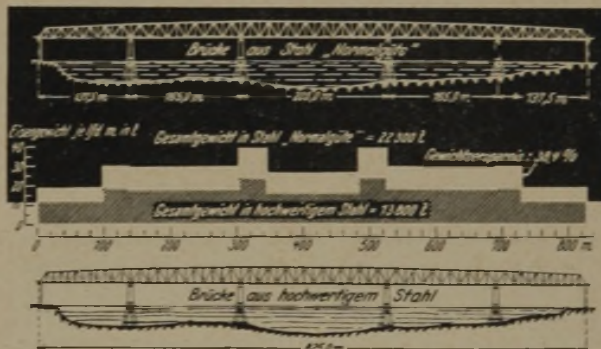


Abb. 2: Eisenbahn- und Straßenbahnbrücke über den Kleinen Belt

St 48 nur auf Verlangen alterungsbeständig geliefert. Angaben über die Kerbschlagzähigkeitswerte sind aus Zahlentafel 2 zu entnehmen.

Zahlentafel 1

Bezeichnung	Chemische Zusammensetzung in %							Streckgrenze in kg/mm^2	Festigkeit in kg/mm^2	Mindestdehnung in % 1-10 D
	C	Si	Mn	P + S max.	Cu	Cr	Mo			
Handelsgüte										
St 37.11								37—45	20	
St 42.11	etw. 0,25			0,100				min 23	42—50	20
St 50.11	etw. 0,35			0,100				min 27	50—60	18
St 52 gemäß DR.-Vorschrift	< 0,20	< 0,50	< 1,50	0,100	< 0,55			min 35	52—64	19
	< 0,20	< 0,50	< 1,20	0,100	< 0,55	< 0,40				
	< 0,20	< 0,50	< 1,20	0,100	< 0,55	< 0,20				

Chemische Zusammensetzung und mechanische Festigkeitseigenschaften der gebräuchlichsten Baustähle

Die Gewichtsersparnisse bei der Verwendung von Baustahl St 52 gegenüber St 37 können sehr bedeutend sein (Abb. 2). So betrug an der über den Kleinen Belt gebauten Brücke aus Baustahl St 52 (genietet) die Gewichtsersparnis etwa 38% gegenüber der Ausführung im Baustahl St 37. Würde man ein solches Bauwerk aus Baustahl St 52 statt genietet geschweißt herstellen, dann ließe sich eine weitere Gewichtsersparnis von 10—15% erzielen. Die Entwicklung ist aber noch nicht so weit vorgeschritten, daß Bauwerke in diesen Ausmaßen als Schweißkonstruktionen ausgeführt werden. Bei solchen Bauwerken sind schwere Profile durch Schweißnähte zu verbinden. Die Technik der Schweißarbeit bereitet

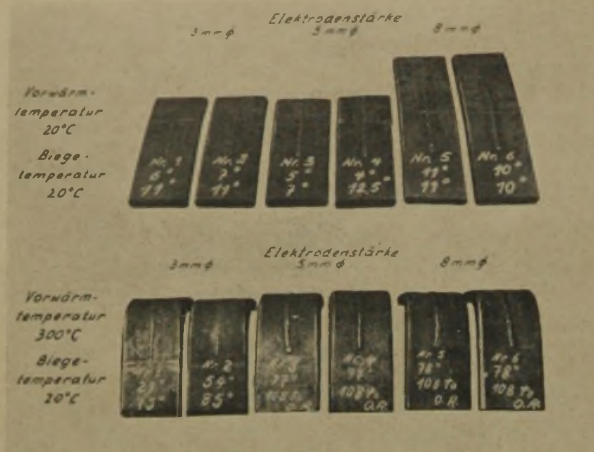


Abb. 3: Biegeproben 50×200×700 mm, St 52. Elektrode Zeus EV 52h

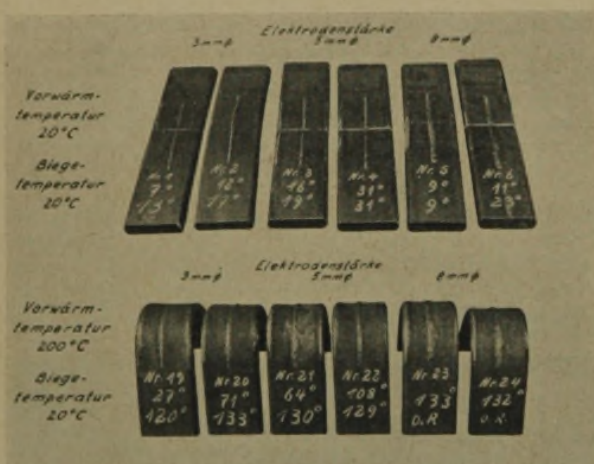


Abb. 4: Biegeproben 50×200×700 mm, St 37. Thomas-Werkstoff Elektrode Zeus EV 52h

hierbei keine Schwierigkeiten; dagegen besitzen wir bis heute noch nicht genügend Kenntnisse und Erfahrungen darüber, wie man die durch das Schweißen erzeugten Eigenspannungen beherrschen, d. h. vermeiden oder unschädlich machen kann. Welche Auswirkung der Eigenspannungszustand zum Beispiel schon bei einem Probestück aus Baustahl St 52 der Abmessung 700×200×50 mm mit aufgelegter Schweißraupe haben kann, zeigt Abb. 3. Während man Platten bis zu 20 mm Stärke nach dem Auftragen einer Schweißraupe bis zu einem Biegewinkel von 180° verformen kann, brechen die vorerwähnten 50 mm dicken Platten schlagartig bei sehr niedrigen Biege winkeln. Wir haben festgestellt, daß die Ursache hierfür vor allem in einer Formänderungsbehinderung des Stahles durch den dreiaxigen Eigenspannungszustand zu suchen ist. Durch Veränderung dieses Spannungszustandes müßte demnach eine Vergrößerung der Biege Winkel erreicht werden. Dies ist auch tatsächlich der Fall, wenn zum Beispiel die Schweißraupen auf solche Platten, die etwa 300° C vorgewärmt sind, aufgetragen werden. Die so behandelten Platten lassen sich weitgehend verformen. Ähnlich verhält sich bei dicken Querschnitten selbst der Baustahl St 37, wie Abb. 4 zeigt. Wenn, wie vorher erwähnt, Vorsichtsmaßnahmen zur Beherrschung der Eigenspannungen getroffen werden, dann sind mit genügender Sicherheit geschweißte Großbauwerke ausführbar. Als Beispiel hierfür zeigt Abb. 5 die Strela-Sund-Brücke, die aus Baustahl St 37 in Schweißkonstruktion mit Gurt-

plattendicken von 46 mm hergestellt wurde. Ein Beispiel für eine geschweißte Brücke aus Baustahl St 52 veranschaulicht Abb. 6.

Das Schweißen von schwächeren Abmessungen bereitet bei den in Frage stehenden baustählen keine Schwierigkeiten. Dies ist mit ein Grund dafür, daß auch in anderen Ländern, in denen die Leichtbauweise verbreitet Anwendung findet, Stähle ähnlicher Festigkeitsgrenzen benutzt werden, obwohl wie z. B. in den Vereinigten Staaten kein Mangel an Legierungselementen die Entwicklung höherlegierter Stähle hemmt. In Zahlentafel 3 ist eine Zusammenstellung der gebräuchlichsten amerikanischen Baustähle wiedergegeben, deren Festigkeiten im Durchschnitt; auch nicht anders liegen als die der deutschen Baustähle St 52.

Zur Veranschaulichung sollen im folgenden einige die Leichtbauweise besonders kennzeichnende Beispiele besprochen werden: Abb. 7 gibt das freitragende Dach einer Halle, bestehend aus Abkantprofilen nach der Bauart Krupp wieder. Aus der Abb. 8 ist der Querschnitt dieser Profile zu erkennen. Für



Abb. 5: Straßen- und Eisenbahnbrücke über den Strela-Sund. S 37, geschweißt



Abb. 6: Vortlufbrücke für die Admiral-Graf-Spee-Rheinbrücke, Gewicht 1000 t, Werkstoff Krupp St 52, elektrisch geschweißt mit Mantelelektroden Zeus EV 52

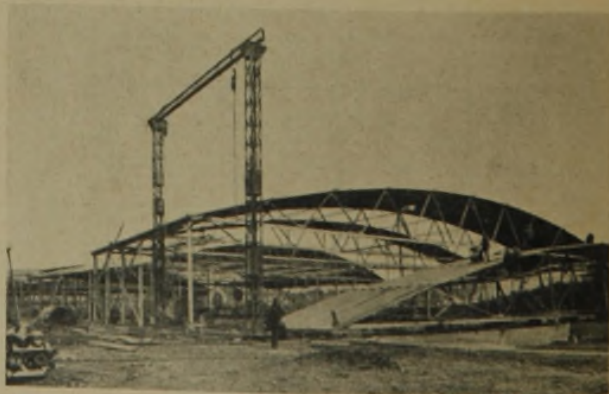


Abb. 7: Leichthallendach „Krupp“

Zahlentafel 3

Bezeichnung	Chemische Zusammensetzung										Festigkeitswerte		
	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cu %	Cr %	Ni %	Mo %	V %	Streckgrenze kg/mm ²	Zugfestigkeit kg/mm ²	Dehnung % L-50 mm
1	0,15/0,35	0,10/0,30	0,90/1,70	max 0,040	max 0,050	0,01/0,25			0,00/0,40	0,00/0,20	25/40	40/65	28/18
2	0,20/0,40	min 0,20	0,40/0,80	max 0,040	max 0,050	0,01/0,25					31	63	18
3	max 0,30	max 0,20	0,70/1,00	max 0,050	max 0,050	0,25/0,50	0,70/1,10				32	52/60	17
4	0,10	0,50/1,00	0,10/0,30	0,10/0,20	max 0,050	0,30/0,50	0,50/1,50				35/42	46/53	27/22
5	0,15	0,00/0,45	0,55/0,75	max 0,050	max 0,050	0,01/0,50	0,05/0,90	0,25/0,45		Sp.	40/56	50/65	25/14
6	0,20/0,30	0,60/0,95	0,90/1,50	max 0,040	max 0,050		0,30/0,70				42/49	60/67	25/20
7	0,15/0,25		0,50/0,80	max 0,040	max 0,050		0,80/1,10				39/56	60/70	20/15
8	0,05/0,20		0,20/0,70			0,35/1,00		0,75/2,00		0,10/0,20	28/53	39/63	35/30
9	0,05/0,25		0,40/0,70	max 0,040		0,40/1,40		0,20/0,75		0,10/0,15	42/49	52/63	25/18
10	0,05/0,35	0,30	0,40/1,00	max 0,050	max 0,050	2,00		2,00/3,50			35/42	59/70	25/20
11	0,10/0,30		0,40/0,80							0,10/0,20	28/35	45/52	30/20

Analysen und Festigkeitswerte amerikanischer Baustähle

derartige Dachkonstruktionen wurde bisher ausschließlich Baustahl St 37 verwendet. Abb. 9—11 zeigen Gittermaste in Leichtbauweise. Bei den beiden Ausführungen „Krupp“ wurde Baustahl St 37 gewählt, während die Rohre des Mastes der Bauart „Mannesmann“ aus Kohlenstoffstahl mit 57—65 kg/mm² Zerreißfestigkeit hergestellt wurden. — An Abb. 12 ist ein Gestell für die Eimerleiter eines Kohlenbaggers zu sehen, bei dem die Rohre aus Baustahl St 37 und die Profile und Bleche aus Baustahl St 52 bestehen. Hier ein Beispiel, wie St 37 und St 52 vorteilhaft in einem Bauwerk miteinander verschweißt wurden.

Im Kessel- und Apparatebau kann man nicht von einem Leichtbau im eigentlichen Sinne sprechen.



Abb. 8: Abkantprofile für Leithallendach Krupp

Hier ist es lediglich die 10—15%ige Werkstoffersparnis, die durch die Anwendung des Schweißens statt Nietens gewonnen wird. Bei den hoch korrosions- und hitzebeständigen Stählen für Sonderzwecke ist diese Werkstoffersparnis infolge des hohen Preises sehr beachtlich. Ersetzt man diese Sonderstähle zwecks Einsparung von teuren Legierungselementen durch plattierte Bleche (Kern unlegierter Werkstoff; Plattierung Sonderstahl), dann kommt als Verbindungsart wohl nur die Schweißung in Frage, denn bei der Nietung würden Stoßkanten und Nieten dem Korrosionsangriff ausgesetzt sein.

Spitzenleistungen in der Leichtbauweise werden im Flugzeugbau verlangt. Hier drängt die Forderung nach Gewichtsersparnis die der Wirtschaftlichkeit in den Hintergrund. Neben weitgehendster Verwendung der Leicht-

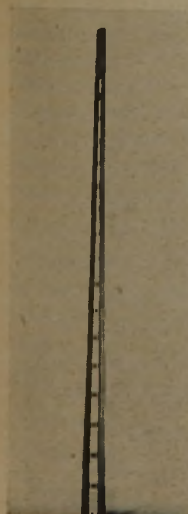


Abb. 9: Flachmast in Krupp-Leichtbauweise, Pfosten aus konischem —Stahl, Bindebleche angeschweißt

metalle und ihrer Legierungen werden heute die Eigenschaften hochwertiger Stähle bis zu den äußersten Grenzen ausgenutzt. Auch hier stand die Anwendung des Schweißens immer im Vordergrund. Wegen der guten Schweißbarkeit verwandte man anfangs für tragende Teile einen weichen unlegierten Flußstahl in Form von Tiefziehblechen und Rohren. Dieser Stahl hatte 34—38 kg/mm² Festigkeit bei einer chemischen Zusammensetzung: 0,12% C, 0,10% Si und etwa 0,35% Mn.

In dem Bestreben nach weiterer Gewichtsersparnis gelangte seit etwa 1928 ein nur mit Kohlenstoff legierter Stahl mit etwa 50 kg/mm² Festigkeit zur Verwendung. Zu gleicher Zeit ging man in Amerika schon zu Cr-Mo-Stählen mit 70—80 kg/mm² Festigkeit bei einer chemischen Zusammensetzung von

C 0,15—0,25 Si 0,20—0,30 Mn 0,50—0,70 Cr 0,8—1,0 Mo 0,15—0,25

über. Bei diesem letzten Stahl, der später auch in Deutschland Anwendung fand, traten aber durch das Schweißen gewisse Schwierigkeiten auf. Es gelang jedoch mit der Zeit, Cr-Mo-Stähle durch besondere Schmelzföhrung schweißunempfindlich zu machen. Aus der Zahlentafel 4 ist der Unterschied in der Schweißunempfindlichkeit verschiedener erschmolzener Stähle ersichtlich.

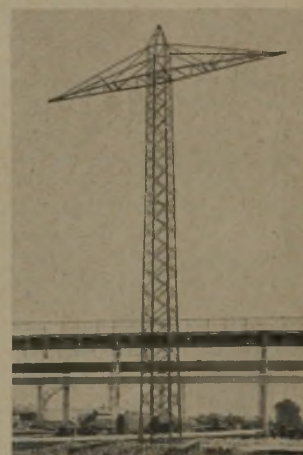
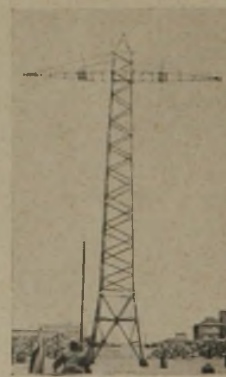


Abb. 10: Hochspannungsgittermast, geschweißt, St. 37, Abkantprofile, Bauart: Krupp

Abb. 11: Hochspannungsgittermast aus nichtlegierten Mannesmann-Stahlrohren (Material Marwe 174a, Kohlenstoffstahl mit 57/65 kg/mm² Zugfestigkeit), elektr. Schweißung, mit Sondermantelelektroden Zeus EV 60



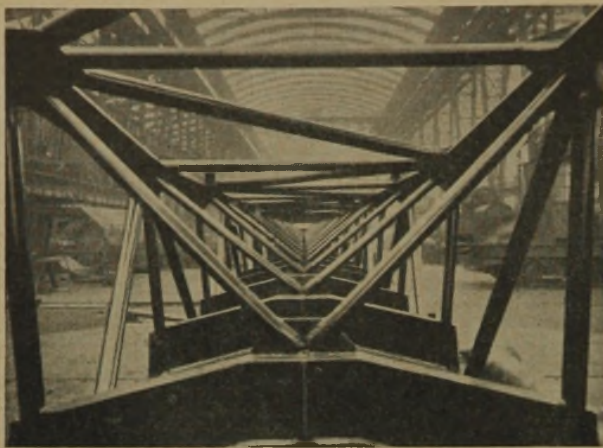


Abb. 12: Gestell für die Eimerleiter eines Kohlenbaggers. Rohre aus Flußstahl, Bleche und Profile aus Krupp-Bausahl St 52, elektrisch geschweißt, mit stark umhüllten Elektroden. Zeus EV maximum und Zeus EV 52



Abb. 13: Seeflugboote Ha 139 der Deutschen Lufthansa für den Nordatlantikdienst

Neben dem Cr-Mo-Stahl entwickelte die Firma Krupp zwei niedriggekohlte manganlegierte Stähle mit 50 und 70 kg/mm² Festigkeit, die zuerst unter der Bezeichnung Aero 50 bzw. Aero 70, heute unter dem Namen Izeit 50 bzw. Izeit 70, auf den Markt gebracht werden. Diese beiden Stähle erfüllen infolge der gewählten chemischen Zusammensetzung und der metallurgischen Vorbehandlung die höchsten Anforderungen bezüglich Schweißbarkeit. Zahlen-

Zahlentafel 4

Werkstoff	Einfache Anschmelzprobe							Zickzack-Anschmelzprobe		Kreuzschweißprobe		Einspann-Schweißprobe Schweißrisigkeit in %		
	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	Mo %	ohne	mit	ohne	mit		nur auf ge- schweißt und gebogen	
								Zu- satz- draht	Zu- satz- draht	Zu- satz- draht	Zu- satz- draht			
	Länge der festgestellten Anrisse in mm													
Martin- stahl	0,28	0,31	0,71	0,011	0,015	0,90	0,21	50	27	73	28	24	Risse stark er- weiterl	20
„	0,28	0,27	0,52	0,011	0,017	1,09	0,21	50	21	80	56	22	Risse stark er- weiterl	24
„	0,29	0,23	0,42	0,010	0,015	1,11	0,25	50	35	113	61	24	Risse stark er- weiterl	28
Elektro- stahl	0,27	0,25	0,49	0,016	0,010	1,08	0,21	38	19	8	34	3	Risse nicht er- weiterl	0
„	0,28	0,24	0,54	0,015	0,010	1,03	0,23	50	17	15	4	9	Risse kaum er- weiterl	0
„	0,29	0,21	0,50	0,016	0,010	1,00	0,23	50	31	13	16	11	Risse etwas er- weiterl	0

Vergleichende Schweißempfindlichkeitsversuche bei Cr-Mo-Stahl aus dem Martinofen und aus dem Elektroofen (Blechstärke 1,2 mm)

tafel 5 zeigt die Festigkeitseigenschaften von geschweißten und ungeschweißten Blechen aus dem Werkstoff Izeit 70. Der vorerwähnte Cr-Mo-Stahl und die Izeit-Stähle sind zur Zeit im deutschen Flugzeugbau die meist verwendeten Stahlsorten. — An dieser Stelle ist es vielleicht von Interesse, zu erwähnen, daß die geschweißten Rohrholme bei den Transatlantikflugzeugen (Abb. 13) der Firma Blohm & Voß, Hamburg, aus dem erwähnten Stahl Izeit 70 gefertigt werden.

In England bevorzugt man in neuester Zeit vergütete Cr-Ni-legierte Stähle bis zu 140 kg/mm² Festigkeit, die ausnahmslos genietet werden.

Nichtrostende Stähle vom Typ des Krupp-V-2-A-Stahles werden in Amerika weitest gehend beim Flugzeugbau verwendet. Die Schwierigkeiten (Karbidausscheidung), die anfangs beim Schweißen auftraten, sind durch Legierung mit kohlenstoff-abbindenden Elementen wie Titan, Tantal, Niob oder durch Senkung des Kohlenstoffgehaltes behoben. Für tragende, hochbeanspruchte Teile wird die Festigkeit dieses Stahles durch Kaltwalzen und nachträgliches Anlassen von 70 auf 140 kg/mm² erhöht bei einer Streckgrenze von 120—130 kg/mm² und 5% Dehnung. Die durch Kaltwalzen erreichte Festigkeitserhöhung von normalerweise etwa 70 kg/mm² auf den doppelten Wert geht bei nachträglicher Erwärmung, wie sie durch Schweißen eintritt, ganz oder zum Teil wieder verloren. Das bedeutet also, daß man durch Kaltwalzen in ihrer Festigkeit hochgezüchtete Stähle mit Hilfe der üblichen Schweißverfahren nicht verbinden kann. Man wird solche Stähle also vorzugsweise nieten oder aber Schweißverfahren anwenden müssen, die nur sehr geringe Wärmebeeinflussung ergeben. Letzteres ist der Fall bei den Punkt- und Nahtschweißverfahren mit Stromrichtsteuerung, die das Schweißen mit sehr hohen Geschwindigkeiten erlauben und die man deshalb auch mit Blitz- oder Schufschweißung bezeichnet.

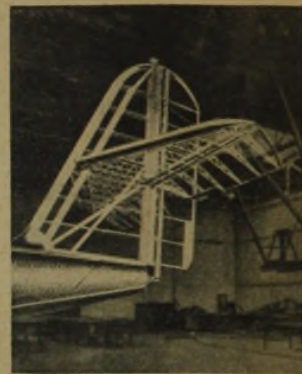


Abb. 14: Steuerorgane eines amerikanischen Flugbootes aus kaltgewalztem Cr-Ni-Stahl 18/8

In Abb. 14 sind die Steuerorgane eines amerikanischen Flugbootes zu sehen, bei dem die einzelnen Konstruktionsteile aus kaltgewalzten Bändern Cr-Ni-Stahl 18/8 im Zieh- und Abkantverfahren hergestellt wurden. Man geht in Amerika mit bestem Erfolg so weit, daß man auch die Verkleidung aus Cr-Ni-Stahl 18/8 wählt, wie die Abb. 15 eines Flugbootes zeigt. Im vorstehenden ist ein Ueber-

Zahlentafel 5

Blechstärke mm	Proben	Streckgrenze kg/mm ²	Zugfestigkeit kg/mm ²	Dehnung $\epsilon = \frac{f_0}{l_0} \cdot 100$	Biege- winkel °
1,2	ungeschweißt	48	72,3	20,4	> 180
2,5	"	49	77,5	19,3	180
6,0	"	46	78,8	19,2	100
12,0	"	54	79,2	17,8	65
1,2	autogen geschweißt mit legiertem Schweißdraht	48	72,0	10,0	180
2,5	"	48	71,2	7,8	180
6,0	"	46	70,1	8,0	95
2,5	elektrisch geschweißt (legierte Mantelelektrode)	53	74,8	6,2	180
6,0	"	52	72,5	8,8	104
12,0	"	51	70,5	7,4	60
6,0	elektrisch geschweißt (schwach umhüllte legierte Elektrode)	56	73,4	8,2	70
12,0	"	57	74,1	7,6	31
6,0	elektrisch geschweißt (legierte Seelen-Elektrode)	60	77,2	7,0	61
2,5	elektrisch geschweißt (austenitische Elektrode)	55	76,8	8,3	180
6,0	"	50	76,5	11,2	180
12,0	"	53	73,4	9,2	90

Festigkeitswerte ungeschweißter und geschweißter (nicht mehr wärmebehandelter) Bleche aus Izzelt 70 (nach Zeyen)

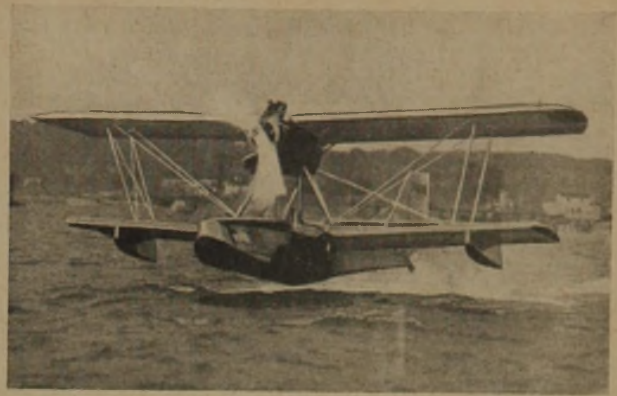


Abb. 15: Amerikanisches Ganzmetallflugboot aus Cr-Ni-Stahl 18/8

blick über die zur Zeit im Leichtbau gebräuchlichsten Stähle gegeben worden. Wie die angeführten Beispiele gezeigt haben, bedeuten die aus diesen Stählen nach dem Prinzip der Leichtbauweise ausgeführten Konstruktionen eine anerkanntswerte Entwicklung der neuzeitlichen technischen Gestaltung.

Aluminium und seine Legierungen als Konstruktionswerkstoff*)

Von Dipl.-Ing. Suhr, Vereinigte Aluminiumwerke AG., Lautawerk

In den vorhergehenden Vorträgen ist in der Hauptsache der Leichtbau im Hinblick auf die Erleichterung der Konstruktion durch zweckentsprechende Formgebung, d. h. der Leichtformbau behandelt worden. Eine weitere Möglichkeit zur Gewichtsverminderung von Konstruktionen besteht darin, Werkstoffe mit einem geringen spezifischen Gewicht und hoher Festigkeit zu verwenden, d. h. den Leichtstoffbau zu betreiben. Der Leichtstoffbau schließt natürlich nicht den Leichtformbau aus. Im Gegenteil wird man gerade bei Verwendung von spezifisch leichten Werkstoffen schon mit Rücksicht auf den oftmals hohen Preis dieser Werkstoffe die Bestrebungen haben, die Form der Konstruktion so zu gestalten, daß zur Erreichung des gewünschten Zweckes möglichst wenig Werkstoff erforderlich ist, d. h. den Leichtstoffbau mit dem Leichtformbau zu vereinen. Die wichtigsten Werkstoffe für den Leichtstoffbau sind die sogenannten Leichtmetalle, von denen hier das Aluminium mit seinen Legierungen behandelt werden soll.

Die rasche Entwicklung des Aluminiums seit seiner erstmaligen Darstellung im Laboratorium vor etwas mehr als 100 Jahren durch Wöhler und seit dem Beginn der technischen Herstellung in größeren Mengen, die durch die Ausarbeitung der Aluminiumelektrolyse am Ende des vorigen Jahrhunderts möglich geworden ist, ist zum großen Teil auf die guten Eigenschaften des Aluminiums als Konstruktionswerkstoff für den Leichtbau zurückzuführen. Um ein Bild von dieser Entwicklung zu geben, möchte ich einige Zahlen über die Erzeugung des Aluminiums in Deutschland und in der Welt vom Jahre 1910 bis heute nennen. Die Aluminiumerzeugung betrug:

	in Deutschland	in der Welt
im Jahre 1910	1 000 t	43 800 t
im Jahre 1920	12 000 t	127 700 t
im Jahre 1930	30 700 t	269 700 t
im Jahre 1933	18 900 t	142 000 t
im Jahre 1937	127 500 t	470 000 t

In diesem Jahre werden diese Zahlen der Aluminiumerzeugung des Jahres 1937 voraussichtlich noch stark überschritten werden. Wenn auch in Deutschland die Bestrebungen, hochdevisenbelastete Metalle gegen Heimstoffe auszutauschen, die besonders starke Entwicklung in der Aluminiumverwendung in den letzten Jahren stark gefördert haben, so erkennt man doch aus diesen Zahlen, daß auch im Ausland die Entwicklung die gleichen Wege geht, obgleich dort kein Mangel an irgendwelchen Metallen besteht. Dieser Umstand deutet darauf hin, daß die zunehmende Verwendung des Aluminiums in der Hauptsache ihre Ursache in den guten technologischen Eigenschaften dieses Werkstoffes hat. In starkem Maße hat dazu die Entwicklung von Aluminiumlegierungen beigetragen, die die Eigenschaften des Aluminiums vor allen Dingen in bezug auf Festigkeit, Seewasserbeständigkeit, Gießfähigkeit, Polier- und Oxydierbarkeit stark verbessern.

Eine gute Uebersicht über die Aluminiumlegierungen gibt das DIN-Blatt 1713, in dem die große Anzahl verschiedener Legierungen, die von den Leichtmetall-Halbzeugwerken unter allen möglichen Namen auf den Markt gebracht werden, je nach ihrer chemischen Zusammensetzung und ihrer Eignung zu Knet- und Gußzwecken nach Gattungen geordnet sind.

Bei den Knetlegierungen unterscheidet man in der Hauptsache aushärtbare und nicht aushärtbare Legierungen. Von den aushärtbaren Legierungen erreicht die Gattung Al-Cu-Mg, deren bekanntester Vertreter das bereits im Jahre 1906 von Alfred Wilm entwickelte Duralumin ist, Zerreißfestigkeiten in ausgehärtetem Zustand je nach Zusammensetzung und Behandlung von 34—58 kg/mm² bei Bruchdehnungen von 24—5% und wird dementsprechend auch für sehr hochbeanspruchte Konstruktionen vornehmlich im Flugzeug-, Luftschiff- und Fahrzeugbau verwendet. Die Aushärtung erfolgt bei dieser Gattung durch Abschrecken, d. h. starkes Abkühlen, aus einer Temperatur von rund 500° und darauffolgende Alterung, die in der Regel bei Zimmertemperaturen erfolgt. Bei

*) Werkfotos: Vereinigte Aluminiumwerke AG., Lautawerk

den übrigen aushärtbaren Legierungen der Gattung Al-Cu-Ni, Al-Cu und Al-Mg-Si erfolgt die Aushärtung in ähnlicher Weise, nur mit dem Unterschied, daß die Alterung bei höheren Temperaturen je nach Gattung zwischen 125° und 160° stattfindet. Dadurch ist die Möglichkeit, größere Verformungen in dem stärker plastischen Zustand zwischen dem Abschrecken und Altern auszuführen, bei diesen Legierungen in uneingeschränktem Maße vorhanden, während bei den Legierungen vom Typ Al-Cu-Mg stärkere Verformungen innerhalb weniger Stunden nach dem Abschrecken erfolgen müssen. Die Gattung Al-Cu-Ni zeichnet sich besonders durch eine gute Warmfestigkeit aus und wird vorzugsweise für hochbeanspruchte warmfeste Schmiedestücke verwendet. Die Gattung Al-Cu hat wegen ihrer weniger guten Korrosionsbeständigkeit keine große Bedeutung mehr, während die Gattung Al-Mg-Si, die bei mittleren Festigkeitseigenschaften gute Korrosionsbeständigkeit aufweist, in großem Maßstabe für Konstruktionsteile Verwendung findet, bei denen eine gute mechanische und chemische Widerstandsfähigkeit gefordert wird. Besonders erwähnenswert ist, daß die Legierungen der Gattung Al-Cu-Mg und Al-Cu zur Erhöhung ihrer Korrosionsbeständigkeit mit einer aufgewalzten Schicht aus Reinaluminium oder aus einer korrosionsbeständigen Legierung geliefert werden können. Dadurch sinkt zwar die Festigkeit um ein paar Prozent herab, aber dafür erreicht man eine Korrosionsbeständigkeit wie bei Reinaluminium oder wie bei einer Al-Mg-Legierung. Nach einem neuen Verfahren der Vereinigten Leichtmetall-Werke, Hannover, vermeidet man bei besonderer Behandlung sogar jeglichen Festigkeitsverlust. Diese Schutzschicht übt auch eine gewisse Fernwirkung aus, so daß selbst bei geringen Verletzungen der Oberfläche oder bei den Schnittkanten, an denen das Ursprungsmaterial freiliegt, eine genügende Schutzwirkung vorhanden ist.

Unter den nicht aushärtbaren Legierungen erreichen die Legierungen der Gattung Al-Mg bei einer hohen Seewasserbeständigkeit die höchsten Festigkeitswerte. Die Festigkeit bei einer Legierung mit 9% Mg beträgt z. B. in halbhartem Zustand rund 38—46 kg/mm² bei einer Bruchdehnung von 15 bis 8%. Mit der Verminderung des Mg-Gehaltes nimmt die Festigkeit dieser Legierungen entsprechend ab. Solche Legierungen mit einem geringen Mg-Gehalt sind für viele Fälle, bei denen es auf keine sehr hohe Festigkeit ankommt, sehr brauchbar, zumal da sie eine sehr gute Korrosionsbeständigkeit besitzen und sich gut verarbeiten und auch gut schweißen lassen. Es hat den Anschein, als ob diese Al-Mg-Legierungen mit einem Gehalt von 3 bis 5% Mg immer stärker an Bedeutung gewinnen, zumal da es oftmals mit Rücksicht auf den geringeren Elastizitätsmodul der Al-Legierungen nicht möglich ist, die hohen Festigkeitswerte der Al-Cu-Mg-Legierungen und der Al-Mg-Legierungen mit hohem Mg-Gehalt auszunutzen. Ähnliche Eigenschaften wie die eben erwähnten Al-Mg-Legierungen haben die Legierungen der Gattung Al-Mg-Mn und werden auch dementsprechend für ähnliche Zwecke verwendet. Die Legierungen der Gattung Al-Si und Al-Mn haben bei einer noch geringeren Festigkeit ebenfalls gute Korrosionsbeständigkeit und werden in der Hauptsache an Stelle von Reinaluminium gebraucht, wenn ein höherer Verformungswiderstand gefordert wird.

Die Aluminium-Gußlegierungen sind in ihrer Zusammensetzung den Knetlegierungen sehr ähnlich. Auch hier gibt es aushärtbare und nicht aushärtbare Legierungen. Mit den aushärtbaren Legierungen kann man z. B. bei Sandguß Festigkeiten bis etwa 28 kg/mm² und bei Kokillenguß über 30 kg/mm² erreichen. Er-

wähnenswert sind die eutektischen Legierungen mit einem hohen Siliziumgehalt, wie das normale Silumin, das Kupfersilumin und Silumin Gamma, die sämtlich ausgezeichnete Gießeigenschaften besitzen. Außer den im DIN-Blatt 1713 enthaltenen Legierungen sind noch besondere Spritzgußlegierungen, die im DIN-Blatt 1744 zusammengefaßt sind, ferner eine Reihe Sonderlegierungen für den Kolbenbau und in neuerer Zeit Automaten- und Lagerlegierungen entwickelt worden.

Die Eigenschaften des Aluminiums und seiner Legierungen sind naturgemäß von denjenigen anderer Konstruktionswerkstoffe verschieden. Man darf daher nicht einfach die sonst üblichen Konstruktionsmethoden in Anwendung bringen, sondern muß Rücksicht auf die andersartigen Eigenschaften des Aluminiums und seiner Legierungen nehmen, wenn man Mißerfolge vermeiden will. Ich möchte daher kurz auf die hauptsächlichsten Unterschiede, die eine Rückwirkung auf die konstruktive Gestaltung haben, im Vergleich zu den übrigen metallischen Werkstoffen, vor allen Dingen im Vergleich zu dem gebräuchlichsten metallischen Werkstoff, dem Stahl, eingehen.

Eines der Hauptmerkmale des Aluminiums und seiner Legierungen ist das geringe spezifische Gewicht, das etwa $\frac{1}{3}$ des Stahls beträgt. Diese Eigenschaft gibt vor allem den Anreiz zu einer Verwendung bei Konstruktionen und führt zu Erleichterungen, die insbesondere im Verkehrswesen eine große wirtschaftliche Bedeutung haben. Die durch die Erleichterung möglichen Ersparnisse im Betrieb gleichen die Mehrkosten infolge der höheren Anschaffungskosten der Konstruktionen aus Aluminiumlegierungen in vielen Fällen aus. Dies trifft beispielsweise bei Schienenfahrzeugen zu, die häufig anfahren und bremsen oder große Steigungen überwinden müssen, wie Stadtschnellbahnen oder Triebwagen auf bergigen Strecken. Selbst bei dem normalen Personenverkehr mit D-Zügen bei der Deutschen Reichsbahn werden nach einer neueren Abhandlung von Regierungsbaumeister Reidermeister über „Die Gewichtsabhängigkeit des Fahrwiderstandes und ihr Einfluß auf die Wirtschaftlichkeit von Leichtmetall-Fahrzeugen“¹⁾ die bei Leichtmetallverwendung entstehenden Mehrkosten voll durch die Kostenverringerung gedeckt, die im Betrieb durch die Gewichtsverminderung der Fahrzeuge erzielt wird. In besonderen Fällen ist es sogar möglich, bei Verwendung von Aluminiumlegierungen eine unmittelbare Kostenverminderung durch die Erleichterung zu erzielen.

Als Beispiel möchte ich eine Laufkatze für den Transport von Bauxit und Briketts (Abb. 1) nennen, bei der ein großer Teil der Konstruktion aus Aluminiumlegierungen hergestellt ist. Die Katze wiegt in Stahlauführung rund 5200 kg, in Leichtmetallausführung rund 2900 kg. Durch diese Gewichtserparnis konnte an den Kosten für die Konstruktion der etwa 100 m langen Fahrbahn, die auf 20 m hohen Stützen ruht, mehr eingespart werden, als die Mehrkosten für die Leichtmetallkatze betragen. Darüber hinaus hat man noch den Vorteil einer dauernden Ersparnis an Betriebskosten.

Mit Vorteil kann das geringe Gewicht des Aluminiums und seiner Legierungen auch bei schnell bewegten Maschinenteilen zur Verringerung der Massenkraften ausgenutzt werden. Hiervon hat man Gebrauch gemacht bei Kolben und Pleuelstangen schnelllaufender Verbrennungskraftmaschinen, bei schnell

¹⁾ VDI-Zeitschrift, Heft 25

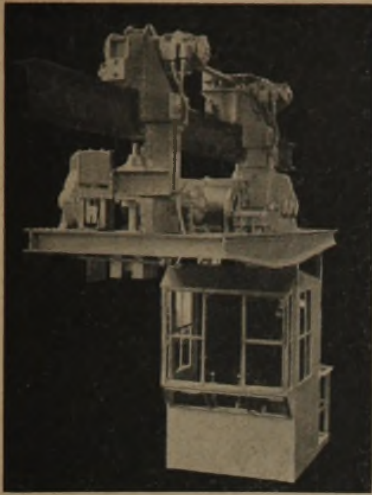


Abb. 1: Laufkatze aus Al-Legierung

umlaufenden Maschinenteilen, wie Ventilator- und Kompressorrädern, Zentrifugen, Spindeln von Textilmaschinen und dergleichen. Während man mit den Festigkeiten der hochwertigen Aluminium-Legierungen an diejenigen der Baustähle, wie z. B. der Stähle St 37 und St 52 herankommt, sind die Bruchdehnungen im allgemeinen etwas geringer als bei

Stahl, d. h. die Aluminiumlegierungen haben im allgemeinen ein geringeres plastisches Formänderungsvermögen. Dieser Nachteil wird aber ausgeglichen durch das höhere elastische Formänderungsvermögen der Aluminiumlegierungen, das durch den kleineren Elastizitätsmodul bedingt ist. Stoßartige Beanspruchungen können daher bei Leichtmetallkonstruktionen in den meisten Fällen elastisch ohne bleibende Formänderung aufgenommen werden. Ein rechnerisches Beispiel, bei dem ein eingespannter Stab von 2,0 m Länge und 6 cm Höhe mit einem Trägheitsmoment von rund 45 cm^4 einen Stoß eines Körpers von 100 kg Gewicht und 10 m/s Geschwindigkeit erhält, zeigt z. B., daß bei Ausführung des Stabes in Stahl die höchste Biegebeanspruchung am eingespannten Ende 2380 kg/cm^2 beträgt, also bereits die Streckgrenze von St 37 erreicht, während bei gleicher Ausführung in Leichtmetall die entsprechende Biegebeanspruchung nur 1375 kg/cm^2 beträgt.

Diesem Vorteil des geringeren Elastizitätsmoduls der Aluminiumlegierungen, der nur $\frac{1}{3}$ von dem des Stahls beträgt, steht jedoch der Nachteil gegenüber, daß die Formänderungen bei gleich ausgebildeten und gleich belasteten Konstruktionen für Aluminiumlegierungen dreimal so hoch sind wie für Stahl. Falls eine solche größere Formänderung unerwünscht ist, kann man in den meisten Fällen durch Vergrößerung der Höhe der Querschnitte oder Trägersysteme ohne wesentliche Baustoffzugabe das Trägheitsmoment so erhöhen, daß man die gleiche Formänderung erhält. In vielen Fällen wird es sogar möglich sein, ohne Vergrößerung der Bauhöhe auszukommen, wenn man sich die gute Formgebarkeit der Aluminiumlegierungen zunutze macht, die es mit Leichtigkeit ermöglicht, eine günstige Werkstoffverteilung zu erreichen.

In gleichem Maße wirkt sich der geringere Elastizitätsmodul nachteilig auf die Knickfestigkeit im elastischen Bereich aus. Dieser Nachteil kann ebenfalls, wie soeben gesagt, durch Vergrößerung der Querschnittshöhe ohne nennenswerte Materialzugabe oder durch Verringerung der Knicklänge, z. B. durch nochmaliges Abfangen des Stabes in der Mitte, behoben werden, zumal die Knickfestigkeit bei kleineren Schlankheitsgraden sich der Knickfestigkeit von Stahl stark nähert. Bei Gußstücken wird man zweckmäßig zur Vermeidung des Ausknickens die Versteifungsrippen am Rande sowie die Lochränder mit einem Wulst versehen. Auch muß man darauf achten, daß nicht nur der ganze Gußkörper eine möglichst gestaltfeste Form erhält, sondern auch die Einzelteile mög-

lichst biegungssteif ausgeführt werden. Diese ganzen Maßnahmen, zu denen auch eine gute Abrundung der Übergänge gehört, wirken nicht nur einer zu starken Formänderung entgegen, sondern sind auch angebracht mit Rücksicht auf die in Vergleich zum Stahl geringere Kerbzähigkeit und Dauerfestigkeit der Aluminiumlegierungen.

Eine weitere beachtenswerte Eigenschaft der Aluminiumlegierungen ist die gegenüber Stahl geringere Oberflächenhärte. Diese wirkt sich vorteilhaft aus auf die Bearbeitbarkeit. Die Aluminiumlegierungen lassen sich mit geeigneten, schnellaufenden Werkzeugmaschinen weitaus schneller bohren, säen und fräsen als Stahl. Andererseits muß man Leichtmetall-Konstruktionsteile in der Werkstatt wegen der geringeren Oberflächenhärte sorgfältiger behandeln, um eine Beschädigung der Oberfläche bei der Bearbeitung zu vermeiden. Aus demselben Grunde ist die zulässige Flächenpressung geringer und die Abnutzung bei gleitender Reibungsbeanspruchung größer als bei Stahl. Diesem Nachteil begegnet man durch Einbau von verschleißfesten Stahlteilen. Die Stahlteile können bei Gußstücken vielfach direkt eingegossen werden. Sonst werden sie eingeschrumpft oder nach einem neuen Verfahren von Rheinmetall-Borsig bei Preßteilen auch unmittelbar eingeschmiedet. Oftmals genügt es auch, die Oberfläche durch Umwandlung in Oxyd mit Hilfe eines elektrolytischen Verfahrens, z. B. des Eloxalverfahrens, zu härten oder nach einem neueren Verfahren Stahl an den stark beanspruchten Teilen aufzuspritzen.

Eine besondere Berücksichtigung verdient auch die bereits vorher genannte gute Verformbarkeit des Aluminiums und seiner Legierungen. Die Profile werden zum größten Teil an Stelle durch Walzen wie bei Stahl durch Pressen auf der Strangpresse hergestellt. Man kann daher viel kompliziertere Formen, als es beim Walzen von Stahl möglich ist, ohne nennenswerte Werkzeugkosten ausführen. Die Ausnutzung dieser guten Verformbarkeit des Aluminiums und seiner Legierungen ermöglicht es in vielen Fällen, bei Leichtmetallkonstruktionen durch Einsparung von Niet- und Schweißnähten oder durch andere Konstruktionsvereinfachungen einen Teil der Mehrkosten infolge des höheren Materialpreises auszugleichen. Ein Beispiel, das in einem Aufsatz von Dipl.-Ing. Brauer über „Höhere Materialkosten — geringere Lohnkosten bei der Verarbeitung von Leichtmetall“²⁾ gegeben ist, zeigt, daß bei geschickter Ausnutzung der guten Verformbarkeit der Aluminiumlegierungen bei einer Omnibuskonstruktion so viel an Montagekosten gespart werden kann, daß die Gesamtkosten für den Leichtmetallaufbau geringer werden als für einen gleichartigen Stahlaufbau.

Weiter muß man beim Entwurf von Leichtmetallkonstruktionen Rücksicht auf die höhere Wärmeausdehnung des Aluminiums und seiner Legierungen nehmen, vor allen Dingen beim Zusammenbau von Leichtmetall mit anderen Metallen. Immerhin werden die auftretenden Temperaturspannungen infolge des geringeren Elastizitätsmoduls nicht sehr hoch. Trotz des annähernd doppelt so hohen Ausdehnungskoeffizienten der Aluminiumlegierungen betragen bei Leichtmetallkonstruktionen die Temperaturschwankungen unter gleichen Bedingungen infolge des geringeren Elastizitätsmoduls nur zwei Drittel derjenigen von entsprechenden Stahlkonstruktionen. Interessant ist es, wie man bei Kolben aus Aluminiumlegierungen der hohen Wärmeausdehnung entgegengetreten ist. Hierbei hat man sich durch besondere Formgebung des

²⁾ Zeitschrift Metallwirtschaft 1937, Heft 39

Kolbens, nämlich durch Einbau von Längsschlitzten oder durch Trennung von Kolbenboden und Kolbenschaft durch Querschlitz, oder auf anderem Wege durch Einlegen von Invarstahl, der praktisch keine Ausdehnung besitzt, oder schließlich durch Entwicklung besonderer Legierungen mit hohem Siliziumgehalt, bei denen der Ausdehnungskoeffizient niedriger liegt, geholfen. In mancher Hinsicht bietet der höhere Wärmeausdehnungskoeffizient der Aluminiumlegierungen natürlich auch Vorteile. Man nutzt ihn aus für die Herstellung von Schrumpfverbindungen, z. B. zum Einschrumpfen von Ventilsitzen aus Stahl in Leichtmetall-Zylinderköpfe, von Stahllaufbüchsen in Leichtmetall-Zylinder oder zum Aufschrumpfen von Zylinder-Wasserröhrenteln aus Leichtmetall auf Stahlzylinder.

Von weiteren Eigenschaften des Aluminiums und seiner Legierungen seien noch genannt die gute Wärmeleitfähigkeit, von der mit Vorteil im Motorenbau bei Kolben, Zylinderköpfen und ganzen Zylinderblöcken und im Apparatebau für Wärmeaustauscher Gebrauch gemacht wird, ferner die gute elektrische Leitfähigkeit, auf Grund welcher das Aluminium einen großen Absatz in der Elektrotechnik gefunden hat, ferner die Eigenschaft, bei Schlägeinwirkungen keinen Funken zu bilden, die seine Anwendung in schlagwettergefährdeten Bergwerken, Pulverfabriken u. dgl. begünstigt, schließlich seine Beständigkeit gegen viele chemische Angriffe und die Oxydierbarkeit, die eine Verwendung im chemischen Apparatebau und in der Nahrungsmittelindustrie gefördert hat.

Nachdem ich in den vorhergehenden Ausführungen die hauptsächlichsten Unterschiede in den Eigenschaften des Aluminiums und der Aluminiumlegierungen gegenüber anderen metallischen Werkstoffen und die Auswirkung auf die konstruktive Gestaltung behandelt habe, möchte ich noch kurz auf die Verbindungsmittel für Leichtmetallkonstruktionen eingehen. Als wichtigste Verbindungsmittel kommen die auch sonst üblichen Verfahren in Betracht, nämlich Nietung, Verschraubung und Schweißung.

Bei der Nietung wird zweckmäßig für die Nieten dieselbe Legierung genommen wie für die übrige Leichtmetallkonstruktion oder eine Legierung mit demselben elektrischen Potential, um Kontaktkorrosion zu vermeiden. Das Nieten macht bei kleinen Nietdurchmessern keine Schwierigkeiten und wird mit denselben Werkzeugen wie bei Stahlnietung, jedoch auf kaltem Wege, durchgeführt. Bei größeren Nietdurchmessern von über 10 mm gelingt das Stauchen im kalten Zustand nur noch schlecht. Man kann in diesem Falle wie beim Stahl mit warmen Nieten arbeiten. Das hat jedoch den Nachteil, daß man bei den hochfesten Legierungen keine genügende Verformung des Nietmaterials und damit geringere Nietfestigkeiten erhält. Außerdem läuft man Gefahr, daß die Erwärmung des Materials um den Niet herum so hoch wird, daß auch dort ein Nachlassen der hohen Festigkeit eintritt. Aus diesem Grunde hat man ein Nietverfahren auf kaltem Wege ausgearbeitet, das rotierende, sogenannte Kreuzstegdöpper verwendet. Diese Döpper erhalten auf ihrer Schlagfläche ein erhabenes Kreuz, so daß beim Nieten nicht die ganze Kopffläche gleichzeitig verformt wird, sondern bei jedem Schlag eine teilweise Verformung des zu bildenden Kopfes eintritt, wobei man infolge Drehung des Döppers schließlich die Bildung des gesamten Schließkopfes erreicht. Dadurch wird eine zu große Schlagstärke und Schlagarbeit vermieden, die zu einer unzulässigen Beanspruchung der zu vernietenden Teile, zum Ausweiten der Löcher und Abplatzen der

Köpfe führen würde. Man hat mit diesem Verfahren bereits mit gutem Erfolg Niete bis zu einem Durchmesser von 22 mm geschlagen. Es ist anzunehmen, daß es sich auch bei noch größeren Durchmessern bewährt. In USA. werden für größere Leichtmetallkonstruktionen im allgemeinen warm geschlagene Stahlniete verwendet. Nach den bisher vorliegenden Berichten sind gute Erfahrungen damit gemacht worden. Hierbei läuft man aber in noch stärkerem Maße, als bereits für warm eingezogene Leichtmetallniete erwähnt, Gefahr, daß das angrenzende Material ausglüht und entfestigt wird. Außerdem ist hierbei am Zusammenstoß von Stahl und Leichtmetall bei Eintritt von Feuchtigkeit eine erhöhte Korrosionsgefahr vorhanden. Aus diesen Gründen ist eine Kalt-nietung mit gleichem Material wie die übrige Konstruktion auf jeden Fall vorzuziehen. Hinzu kommt noch, daß bei Kalt-nietung der Niet in der Lochwandung von selbst fest anliegt, was man bei warm geschlagenen Stahlnieten erst durch stärkeres Erwärmen des Setzkopfes und Vorstauchen des Schaftes zu erreichen sucht. Außerdem haben Versuche, die in der Schweiz durchgeführt worden sind, gezeigt, daß durch die Verfestigung der Lochwandung infolge Stauchung beim Kalt-nieten die Verringerung der Dauerfestigkeit des gelochten Stabes gegenüber dem ungelochten Stab zum großen Teil wieder rückgängig gemacht wird. Es ist in diesem Zusammenhang interessant, daß schon Bach in seinem bekannten Werk über Maschinenelemente für Stahl Kalt-nietung bei stark wechselnd beanspruchten Bauteilen empfohlen hat, und daß vor einigen Jahren bei einem Großgasbehälter in Philadelphia Kalt-nietung bei Stahl in großem Umfange ausgeführt worden ist. Das Verhältnis von Scherfestigkeit der Niete zur Zugfestigkeit ist bei Aluminiumlegierungen etwas geringer als bei Stahl, nämlich 0,65 bis 0,7 anstatt 0,8. Dementsprechend wird man auch die zulässige Scherbeanspruchung zu etwa 0,65 bis 0,7 der zulässigen Zugbeanspruchung wählen. Mit dem zulässigen Lochleibungsdruck kann man auf das Zweifache der zulässigen Zugbeanspruchung gehen. Ein neueres Beispiel für eine größere Leichtmetall-Nietkonstruktion zeigt das Bild eines Großraum-Güterwagens (Abb. 2), der zum Transport von Tonerde dient. Der ganze obere Wagenkasten einschließlich Untergestell besteht aus Aluminiumlegierungen, und zwar vom Typ Al-Mg-Si, nur die Drehgestelle, Puffer und einige kleinere Teile sind aus Stahl hergestellt. Der Wagen faßt 110 cbm, das sind 66 t Tonerde, und hat ein Eigengewicht von 21,5 t, wovon rund 6 t auf den Wagenkasten aus Leichtmetall entfallen. Abb. 3 zeigt das genietete Untergestell eines Großraum-Leichtmetallwagens.

Die Verschraubung bei Leichtmetallkonstruktionen unterscheidet sich im wesentlichen nicht von der bei Konstruktionen aus Stahl oder anderen metallischen Werkstoffen. Man kann Leichtmetall-



Abb. 2: Großraum-Leichtmetallwagen, erbaut von Linke-Hofmann-Werke-Breslau

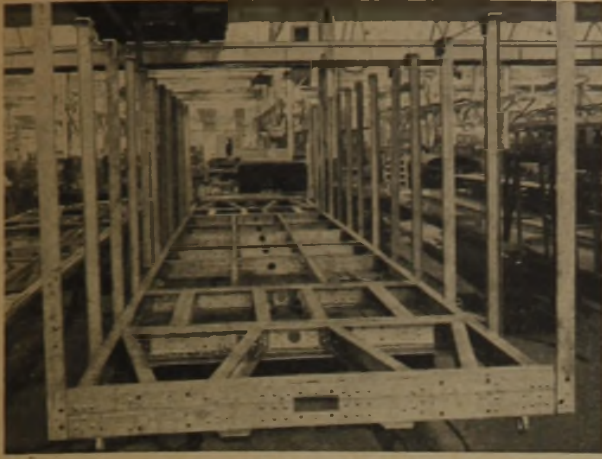


Abb. 3: Untergestell eines Großraum-Leichtmetallwagens ohne Bodenbleche mit angesetzten Eck- und Seitenwandsäulen

oder Stahlschrauben verwenden. Stahlschrauben werden zweckmäßig zur Vermeidung von Korrosionsgefahr verzinkt oder kadmiert. Allgemein ist dabei zu beachten, daß man möglichst etwas größere Unterscheiben als bei Stahlkonstruktionen verwendet.

In neuerer Zeit gewinnt als Verbindungsmittel das Schweißen eine immer größere Bedeutung. Man ist heute so weit, daß man Aluminium und Aluminiumlegierungen einwandfrei autogen oder elektrisch schweißen kann. Die Schweißung hat jedoch den Nachteil, daß durch das Ausglühen des Materials an der Schweißstelle ein erheblicher Festigkeitsrückgang eintritt. Die Festigkeitsabnahme ist bei vergüteten Legierungen, bei denen durch die Schweißung naturgemäß auch die Vergütungswirkung rückgängig gemacht wird, größer als bei unvergüteten Legierungen, bei denen in der Regel nur die Verfestigung infolge der Kaltbearbeitung zurückgeht. Das Verhältnis der Festigkeiten der geschweißten Stelle zu dem Ausgangsmaterial beträgt im Mittel bei vergüteten Legierungen rund 0,6, bei unvergüteten, kalt verfestigten Legierungen rund 0,7, bei unvergüteten Legierungen im weichen Zustande rund 0,9 bis 1,0. Man muß bei autogen oder mittels elektrischem Lichtbogen geschweißten Konstruktionen aus Aluminiumlegierungen also anstreben, die Schweißnähte an weniger hoch beanspruchten Stellen, z. B. Momentennullpunkten bei Trägern und dergleichen, anzubringen. Günstiger liegen die Verhältnisse bei der elektrischen Punktschweißung, da diese Schweißmethode einer Nietverbindung ähnelt und das Material nur an einzelnen Punkten schwächt, was auch bei Nietverbindungen durch die Nietlöcher eintritt. Diese Schweißart ist jedoch nur bei dünnen Wandstärken bis etwa 3 mm anwendbar, so daß die Verwendungsmöglichkeit beschränkt ist. Bedeutung gewinnt die Punktschweißung voraussichtlich im Schalenbau, wobei man durchweg auch bei Verwendung von Leichtmetall mit dünnen Wandstärken auskommt. Gegenüber der autogenen Schweißung gewinnt die elektrische Lichtbogenschweißung in neuerer Zeit immer mehr an Bedeutung, nachdem es gelungen ist, für fast alle Legierungen einwandfrei arbeitende, umhüllte Schweißelektroden mit leicht abspringender Schlacke zu entwickeln. Die Vorteile der Lichtbogenschweißung gegenüber der autogenen Schweißung beruhen auf höherer Schweißgeschwindigkeit, Wegfall eines Arbeitsganges, da das Aufbringen des Flufmittels wegfällt, und geringerer Verwerfung der geschweißten Werkstücke. Ein Beispiel einer größeren, elektrisch geschweißten Leichtmetallkon-

struktion zeigt der Vorortbahnwagenzug der französischen Nordbahn (Abb. 4). Bei den zuletzt gebauten Wagen sind die in der Mitte des Wagens durchlaufenden Langträger, die bei der ersten Ausführung noch als geschweißte Stahlgitterträger ausgeführt worden sind, als genietete Vollwandträger aus einer Al-Mg-Legierung hergestellt. Der ganze Kastenaufbau ist bei allen Wagen vollständig geschweißt. Als Material hierfür sind Al-Mg-Legierungen mit 5 bis 7% Mg verwendet. Diese Wagen sind bereits in großer Anzahl gebaut worden und haben sich durchaus bewährt. Nach den bisherigen Erfahrungen mit der elektrischen Lichtbogenschweißung von Aluminiumlegierungen hat es den Anschein, daß man beim Entwurf von geschweißten Konstruktionen hierbei in mancher Hinsicht andere Wege gehen muß als bei geschweißten Stahlkonstruktionen. Man wird sich hauptsächlich auf den Stumpfstoß, den Dreiblechstoß und den Winkelstoß beschränken und Kehlnähte möglichst vermeiden müssen. Das läßt sich im Leichtmetallbau auch verhältnismäßig einfach durchführen, da die gute Formgebarkeit des Aluminiums und seiner Legierungen es ermöglicht, die Konstruktionen zweckentsprechend zu gestalten, z. B. Spezialprofile entsprechend den genannten Forderungen ohne große zusätzliche Kosten auf der Strangpresse herzustellen.

Zum Schluß möchte ich noch kurz auf den Oberflächenschutz des Aluminiums und seiner Legierungen eingehen. Wenn diese Werkstoffe auch im allgemeinen eine gute Witterungsbeständigkeit und manche Legierungen auch eine gute Seewasserbeständigkeit aufweisen, so ist es doch in den meisten Fällen angebracht, einen zusätzlichen Schutz vorzusehen. Derartige Schutzüberzüge kann man durch rein chemische Verfahren, z. B. durch das sogenannte MBV-Verfahren, durch elektrochemische Verfahren, z. B. durch elektrolytische Oxydation, und durch mechanische Verfahren, wie Plattierungen und Farb- und Lacküberzüge bzw. -anstriche, erzielen. Unter diesen Verfahren nimmt die elektrolytische Oxydation einen besonderen Platz ein. Das bekannteste und verbreitetste Oxydationsverfahren ist das sogenannte Eloxal-Verfahren. Die mit diesem Verfahren erzielten Oxydschichten, die aus dem Metall heraus durch Umwandlung in das Oxyd entwickelt werden, von großer Härte sind und eine ausgezeichnete Haftfestigkeit besitzen, bilden nicht nur einen wirksamen Schutz gegen Witterungseinflüsse und andere chemische oder mechanische Angriffe, sondern man kann mit ihnen auch besondere dekorative Wirkungen erzielen. Bei



Abb. 2: Großraum-Leichtmetallwagen, erbaut von Linke-Hoffmann-Werke, Leichtmetallausführung

gewissen Legierungen lassen sich durch dieses Verfahren unmittelbar neusilber-, messing- und bronzartige Farbtöne erzeugen. Außerdem lassen sich die Oxydschichten künstlich einfärben, so daß man alle weiteren erwünschten Farbtöne erhalten kann. Bei der Erzeugung dekorativer Oxydschichten ist darauf zu achten, daß nicht alle Al-Legierungen in gleichem Maße hierfür geeignet sind. Außer Reinaluminium hat sich von den Knetlegierungen eine Al-Mg-Legierung mit 2,5 bis 3 Prozent Mg und niedrigstem Mn-Gehalt als am geeignetsten erwiesen. Bei den Gußlegierungen erreicht man mit der Legierung G 54, einer Al-Mg-Zn-Legierung, besonders reine, leuchtende Tönungen in allen Farbabstufungen. Auch ist darauf zu achten, daß die Gußstücke eine möglichst glatte, porenfreie Oberfläche erhalten. Durch diese Möglichkeit, dekorative Schichten auf Aluminium und seinen Legierungen zu erzeugen, haben diese Leichtbaustoffe ein großes Verwendungsgebiet in der Architektur gefunden. Das ist auch für den Leichtbau besonders beachtenswert,

da es auf diese Weise möglich geworden ist, einen großen Teil der Inneneinrichtungen und Beschläge aus Schwermetall bei Flugzeugen, Schiffen, Schienen- und Straßenfahrzeugen vollwertig durch Al-Legierungen zu ersetzen. Hiervon wird schon in großem Maßstab für Fahrzeugbeschlagteile, Gepäcknetzhalter, Aschenbecher, Lampeneinrahmungen, Kleiderhaken, Innenverkleidungen u. dgl. Gebrauch gemacht.

Wie aus den vorangegangenen Ausführungen ersichtlich, hat man sich bemüht, die Eigenschaften des Aluminiums in bezug auf seine Eignung als Konstruktionswerkstoff zu studieren und seine Eigenarten beim Entwurf von Leichtmetallkonstruktionen zu berücksichtigen. Dadurch ist es möglich geworden, das Aluminium in fast allen Industriezweigen, vor allen Dingen im Flugzeug- und Luftschiffbau, im Fahrzeug- und Schiffbau, im Bauwesen, im Förderanlagenbau, in der Elektrotechnik und im Motoren- und Apparatebau als vollwertigen Konstruktionswerkstoff einzuführen.

Magnesium und seine Legierungen *)

Von E. J. de Ridder

Das leichteste aller Leichtmetalle ist mit einem spezifischen Gewicht von nur 1,8 das Magnesium. Nicht allein deshalb ist es für den Leichtbau betreibenden Ingenieur notwendig, sich mit diesem Werkstoff eingehend zu befassen, sondern weil es vom Standpunkt der Rohstoffbeschaffung aus gesehen ein rein deutscher Werkstoff ist, zu dessen Herstellung wir unbegrenzte Rohstoffmengen im deutschen Land besitzen, und endlich, weil wir in Deutschland in bezug auf Magnesiumherstellung und Stand der technischen Entwicklung in diesem Spezialgebiet der übrigen Welt mit einem weiten Vorsprung voraus sind. Magnesium wird durch Elektrolyse von Chloriden des Magnesiums gewonnen. Als Ausgangsstoffe können sowohl die natürlichen Vorkommen der Chloride, z. B. Karnallit, Staßfurter Salze, oder allgemein „Kalisalze“ genannt, herangezogen werden, als auch die karbonatischen Verbindungen Dolomit. In seiner reinen Form hat Magnesium nur kleinere Anwendungsgebiete gefunden. Einen sehr beachtlichen Verwendungsbereich haben sich jedoch die Magnesiumlegierungen erobert, die z. B. von der I. G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft unter dem Namen „Elektronmetall“ auf den Markt gebracht werden. Sie bedeuten nicht einen gerade noch brauchbaren Ersatzwerkstoff, sondern ein vollwertiges technisches Baumaterial, das sich gerade auf dem Gebiet des Leichtbaues im Sinne eines technischen Fortschrittes verwenden läßt und das in seiner Verwendung auch da, wo Rohstofffragen nicht gegeben waren, schon eine vieljährige Bewährung im praktischen Betrieb aufweist.

Magnesiummetall wird geliefert in drei Lieferformen: Guß, gepreßtes und geschmiedetes Material und gewalztes Material. Als Guß wird geliefert: Sandguß, Kokillenguß und Spritzguß. Die mittleren Festigkeiten sind bei Guß ähnlich wie die des Aluminiumgusses, die Bruchfestigkeit 16 bis 24 kg/mm², die Streckgrenze 9 bis 15, die Ermüdungsfestigkeit 3 bis 7 kg/mm², bei Dehnungen von 2 bis 5%. Gepreßtes und geschmiedetes Material hat eine Bruchfestigkeit von 28 bis 32 kg/mm², eine Streckgrenze von 18 bis 22 kg/mm², bei einer Dehnung von 12 bis 18%. Die gleichen Festigkeitszahlen gelten auch für gewalztes Material, d. h. für Bleche.

Die nachfolgenden Zahlentafeln 1 bis 3 geben einen genaueren Ueberblick über die mechanischen Eigenschaften der von der I. G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft zur Zeit lieferbaren Legierungen.

Magnesiumlegierungen wird vielfach vorgeworfen, daß sie keinen ausreichenden Korrosionsbestand haben. Das stimmt insofern, als Magnesiumlegierungen nicht da verwendet werden sollen, wo sie mit Seewasser in Berührung kommen. Dagegen für normale Witterungsbeanspruchung ist die Korrosionsfähigkeit voll ausreichend, wie die jahrelange Erfahrung bewiesen hat. Zweckmäßig ist es jedoch, daß die Teile lackiert werden.

Die Abb. 1 zeigt mit verschiedenen Lackanstrichen geschützte Bleche, die der übertriebenen Seewassersprühprobe ausgesetzt wurden. Man ersieht aus dem Bild, daß die mit Titanweißgrundierung behandelte Probe keinerlei Korrosionsangriff zeigt. Das Beispiel zeigt weiter, daß als Schutzanstrich nicht beliebige Lacke gewählt werden dürfen. Zum Beispiel sind die Grundierfarben mit Mennige und Bleiweiß korrosionsfördernd. Dagegen ist die Mehrzahl der Lacke, die auf der Basis der Öle und Nitrocellulosen entwickelt worden sind, für die Konservierung der Magnesiumlegierungen voll ausreichend.

Genau wie bei den übrigen Leichtmetallen ist bei Magnesiumlegierungen auch darauf zu achten, daß Verbindungen mit Schwermetall vermieden werden, weil sonst elektrolytische Korrosionen auftreten. Der Spannungsunterschied ist so gering, daß bei starren Bauteilen z. B. Nietverbindungen, die im Betrieb nicht arbeiten, eine einfache Lackierung als elektrische Isolation vollkommen ausreichend ist.

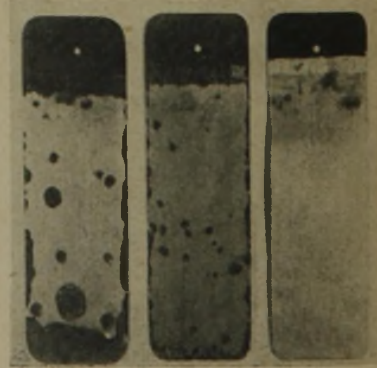


Abb. 1: Lackierte Elektronbleche nach zwei Monaten Seewasser-Sprühdruckprobe. (Mennige-Bleiweiß-Titanweiß-Grundierung)

*) Werkfotos: I. G. Farbenindustrie AG., Bitterfeld

Zahlentafel 1

Technisch wichtige Eigenschaften des Elektronmetalls

Mechanische Eigenschaften 1)

Gußlegierungen²⁾

Legierung Kurzzeichen nach DIN 1717 (bzw. DIN 1744*)	Kenn- farbe	Elast.- Grenze (0,02 %)	Streck- grenze (0,2 %)	Zug- festig- keit	Bruch- deh- nung ($\bar{\epsilon}_{10}$)	Bruch- quer- schnitts- vermin- derung %	Druck- festig- keit	Elast.- Modul	Brinell- härte (H 5, 250, 30)	Kerb- zähig- keit	Scher- festig- keit	Dauer- biege- festig- keit	Richtlinien für die Verwendung
		kg/mm ²	kg/mm ²	kg/mm ²	%	%	kg/mm ²	kg/mm ²	kg/mm ²	mkJ/cm ²	kg/mm ²	kg/mm ²	
Sandguß AZG GMg-Al6-Zn	gelb- weiß	4-5	9-10,5	16-20	3-6	5-7	33	4300	50-58	0,35	14	7-8	Dauerbeanspruchte Gußstücke
AZF GMg-Al4-Zn	gelb- grün	4	8-9	17-21	5-9	9-11	32	4200	47-52	0,50	13	5,5-7,5	Stoßbeanspruchte Gußstücke
A9V GMg-Al	gelb- blau- schw.	4,5-5	10-11	24-27	8-12	8-15	31	4400	56-63	0,90	13-14	8-10	Mechanisch besonders hoch beanspruchte Teile. Die Gußstücke müssen einer thermischen Nachbe- handlung unterzogen werden
AZ31 GMg-Al3-Zn	gelb- schw.	3	5,0-6,5	16-20	7-10	12	29	4000	43-48	1,00	11	5-6,5	1. Wärmebeanspruchte Gußstücke 2. Einfache gegen Gase und Flüssigkeiten dichte Guß- stücke
CMSi GMg-Si	gelb- rot- schw.	—	5-6,5	10-13	2-4	4-7	22	—	41-46	0,45	10-11	—	1. Beste Dichtigkeit gegen Gase und Flüssigkeiten 2. Hoh. Schmelzpunkt (Soliduspunkt 645°)
AM503 GMg-Mn	gelb- rot	—	3	9-11	3-6	5-9	17-18	—	35-39	1,10	8,5-9,5	—	Besonders korrosionsbestän- dige, dichte, gut schweißbare Legierung für wenig bean- spruchte, kleine, einfache Gußstücke
A8K GMg-Al	gelb- blau- braun	4-5	10-11	15-19	2-5	4-6	27-30	4300	52-57	0,25	12-13	7-8	Sehr gute Korrosionsbestän- digkeit bei guten Festigkeits- eigenschaften. Besondere Schmelzbehandlung erforder- lich
Kokillenguß AZ91 GMg-Al	gelb blau- rot	5	11-13	18-22	2,5-5	4	33	4400	60-65	0,50	13	7-8	Normale Kokillengußteile
A8 GMg-Al	gelb- blau- grün	4	9,5-10,5	20-24	5-10	7-12	28	4300	54-60	0,65	13-14	7-8	Stoßbeanspruchte, gießtech- nisch einfache Kokillenguß- teile
Spritzguß AZ91*) SgMg-Al-Zn	gelb- blau- rot	6-7	15-16	18-20	1-2	4	—	4300	62-70	—	—	—	Massenteile bis zu 1500 g Stückgewicht

1) Die Oberfläche der Prüfstäbe, besonders der Dauerbiegestäbe, soll glatt und frei von Kerben sein.

2) Die angegebenen Festigkeitswerte wurden an gesondert gegossenen Zerreißstäben ermittelt. Es kann nicht erwartet werden, daß im Gußstück selbst an allen Stellen diese Zahlenwerte erreicht werden. Hierüber sind bei Bestellung jeweils besondere Vereinbarungen zu treffen.

Zahlentafel 2

Bleche^{3) 4)}

Legierung Kurzzeichen nach DIN 1717	Kenn- farbe	Elast.- Grenze (0,02 %)	Streck- grenze (0,2 %)	Zug- festig- keit	Bruch- deh- nung ($\bar{\epsilon}_{10}$)	Elast.- Modul	Brinell- härte (H 5, 250, 30)	Verwendung	
		kg/mm ²	kg/mm ²	kg/mm ²	%	kg/mm ²	kg/mm ²	Richtlinien	Beispiele
AM537 Mg-Mn	gelb- rot- grün	12	19-23	25-28	18-25	4100	45-55	Kalt verformbar und gut schweißbar	Blechpreßteile
AM503 Mg-Mn	gelb- rot	5	8-14	19-23	3) 5-10	3900	39-42	Zu schweißende Teile, erhöhte Korrosionsfestigkeit	Brennstoffbehälter, Außenverkleidungen
AZM Mg-Al6	gelb- weiß- gelb	10	16-22	28-32	10-14	4300	58-63	Konstruktionsmaterial für Leichtbau	Beanspruchte Flugzeugteile, gezogene Profile
AZ31 Mg-Al3	gelb- schw.	—	16-18	25-28	12-18	4100	55-60	Ätzplatten	Ätzplatten
AZ21 Mg-Al3	gelb- schw.- gelb	7	13	23	15	4500	50-55	Plaketten	Plaketten

Zahlentafel 3
Preß- und Schmiedelegierungen⁵⁾

Legierung Kurzzeichen nach DIN 1717	Kenn- farbe	Elast.- Grenze (0,02 %)	Streck- grenze (0,2 %)	Zug- festig- keit	Bruch- deh- nung (δ_{10})	Bruch- quer- schnitts- vermin- derung %	Druck- festig- keit	Quelsch- grenze (0,2 %)	Elast.- Modul	Brinell- härte (H 5, 250, 30)	Kerb- zähigkeit	Scher- festig- keit	Dauer- biege- festig- keit	Richtlinien für die Verwendung
		kg/mm ²	kg/mm ²	kg/mm ²	%	%	kg/mm ²	kg/mm ²	kg/mm ²	kg/mm ²	mkg/cm ²	kg/mm ²	kg/mm ²	
AZM Mg-A16	gelb- weiß- gelb	17—19	20—22	28—32	11—16	25—30	35—38	12	4500	60—65	1,00—1,40	14—16	13	Beanspruchte Konstruktions- teile
AZ 855 Mg-A19	gelb- blau- schw.	18—20	21—23	29—32	8—12	13—18	36—38	12—20 ⁶⁾	4500	68—75	0,60—0,80	14—16	13—14	Hoch- beanspruchte Schmiede- stücke (Luft- schrauben)
V 1 Mg-A19	gelb- blau- rot	19—21	23—28	33—37	7—9	9—12	37—40	13	4500	70—78	0,40	16	12	Teile mit be- sonderer Härte
V 1w Mg-A19	gelb- blau- rot	19—21	23—26	33—37	9—12	13—18	35—38	13	4400	65—73	0,75—1,00	16	12	
V 1h Mg-A19	gelb- blau- rot	22—24	26—30	37—42	2—5	3—6	40—45	13	4600	87—95	0,30	18	13	
AZ 31 Mg-A13	gelb- schw.	14—16	18—20	25—28	8—12	30—35	34—36	10,5	4300	53—58	1,00—1,40	13—15	10	Leicht verformbares Konstruktions- material
Z 1b Mg-Zn	gelb- rot- blau	9—13	16—18	25—27	15—18	25—30	34—36	10,5	4300	51—56	1,20	13—15	9	Farbig zu beizende Teile
A M 503 Mg-Mn	gelb- rot	8—10	14—17	19—23	1,5—5	5	30—32	11,5	4200	41—46	1,00	12—14	7	Preß- und Profilteile, die eingeschweißt werden sollen

³⁾ Die für Bleche angegebenen Werte sind auf die tatsächlichen Stabquerschnitte (Ist-Querschnitte) der Zerreißstäbe bezogen. Bei dickeren Blechen der Legierung A M 503 sind die Mindestwerte für die Dehnung etwas niedriger; sie betragen:

bei Blechdicke von 2,5 bis 4,9 mm 3,5 %
bei Blechdicke von 5 mm und darüber 3,0 %

⁴⁾ Die Werte gelten auch für aus Blechstreifen in der Wärme gezogene Profile.

⁵⁾ Die Zahlen wurden an Stäben ermittelt, die in der Längsrichtung der Mittelzone gepreßter Stangen von ausreichendem Verpressungsgrad (bis 80 mm Durchmesser) entnommen wurden; bei größeren Querschnitten sind die Werte entsprechend niedriger. Die Zahlen gelten auch für Rohre von 1 mm Wanddicke und darüber; bei geringeren Wanddicken liegt die Zugfestigkeit um 1 kg/mm², die Bruchdehnung um 1 % niedriger. Die Festigkeitszahlen von Schmiedestücken hängen in größerem Maße von der Eigenart der einzelnen Teile ab; Angabe von Garantiewerten nur nach besonderer Vereinbarung.

⁶⁾ Je nach Art des Schmiedestückes.

Da, wo mit einem Abspringen des Lackes gerechnet werden muß, können die Isolierstoffe in Form von Oelpapier oder Kunststoffen zur Anwendung gelangen. Auch gegenüber Holz muß eine Isolation durchgeführt werden, weil es sich gezeigt hat, daß Holz Feuchtigkeit aufnimmt und sie mit Säure versetzt wieder abgibt, wodurch Korrosionen entstehen können. In den meisten Fällen genügt hier ebenfalls eine gute Zwischenlackierung.

Ein weiterer Vorwurf, den man den Magnesiumlegierungen macht, ist der der **F e u e r g e f ä h r l i c h k e i t**. Magnesium wird für Blitzlichtpulver, Brandbomben usw. verwendet. Man zieht daraus den Schluß, daß da, wo hohe Temperaturen auftreten, mit einem Brennen des Metalls gerechnet werden muß. Demgegenüber sei gesagt, daß in vielen Explosionsmotoren die Kolben in Elektron hergestellt sind, ohne irgendwelchen Schwierigkeiten in bezug auf Brennbarkeit des Metalls zu begegnen. Magnesiummetall brennt erst dann, wenn es über seinen Schmelzpunkt erhitzt wird. Aber auch hier zeigen die praktischen Erfahrungen, daß sich dieses Material unter Verwendung entsprechender Schweißmittel autogen schweißen läßt, ohne daß die Brennbarkeit des Magnesiums zu irgendwelchen Störungen führt. Es treten mitunter bei der Schnittbearbeitung von Magnesium in der Werkstatt Brände von Spänen auf. Die Hauptursache liegt darin, daß die Schnittwinkel und Vorschübe nicht entsprechend den für die Schnittbearbeitung entwickelten Vorschriften eingehalten sind und infolgedessen, wie auch bei stumpfen Werkzeugen, die hierbei auftretende Wärme

des dünnen Spanmaterials zum Brennen Veranlassung gibt. Brände, die an diesen Stellen auftreten, kann man ohne weiteres löschen, indem man mit Spänen aus dem gleichen Material die Flammen erstickt. Bei größeren Bränden kann man sich mit Sand behelfen. Viele Werkstätten haben neben ihren Werkzeugmaschinen einen Kasten mit Graugußspänen zum Löschen derartiger Brände stehen, da ein Löschen mit Sand an Präzisionsmaschinen Schäden verursacht. Grundsätzlich sollte man nicht mit Wasser löschen.

Das zweite Bild zeigt einen interessanten Versuch, der vor vielen Jahren durchgeführt worden ist, um zu untersuchen, inwieweit die Brandgefahr auch an anderen Stellen zu Recht besteht. Es handelte sich damals darum, nachzuweisen, ob man in Magnesium die Motorverkleidungen an Flugzeugen und die Brennstoffbehälter herstellen könnte. Es wurde ein Versuchs-



Abb. 22: Brandversuche mit benzingefülltem Elektrontank

behälter zur Hälfte mit Benzin gefüllt und dann an einem langen Hebelarm eine brennende Lötlampe auf die Oberseite des Tanks gerichtet. Hierbei erhitze sich das Benzin und gelangte am Entlüftungstutzen zum Brand, wobei sich der Tank ohne weiteren Schaden entleerte. Erst nach seiner Entleerung brannte an der Stelle, wo die Stichflamme der Lötlampe war, ein Loch in den Tank. Der Behälter verhielt sich genau so wie ein Aluminiumbehälter.

Die weitaus größte Anwendung haben die Magnesiumlegierungen in Form von Guß gefunden, und es sei deshalb im nachfolgenden an Hand von Beispielen die verschiedenartige Anwendungsmöglichkeit näher erläutert.

Die Abb. 3 zeigt das Kurbelgehäuse und die Zubehöraggregate eines Flugmotors in Elektronenguß. Hier handelt es sich um Bauteile, die sehr hohen Ermüdungsbeanspruchungen ausgesetzt, dabei aber mit Rücksicht auf geringstes Baugewicht außerordentlich knapp bemessen sind. Derartige Flugmotoren befinden sich in großen Mengen im Betrieb und beweisen, daß dieser Leichtmetallguß an Stellen eingesetzt werden kann, wo höchste Anforderungen an den Baustoff gestellt werden. Man ersieht aus dem Beispiel weiter, daß die theoretische Forderung, Schwermetalle gegenüber Leichtmetallen elektrisch zu isolieren, in der Praxis nicht überall durchführbar ist. Hier sind z. B. sämtliche Schrauben und Stehbolzen ohne Isolation in das Leichtmetall eingeschraubt. Irgendwelche Korrosion ist im langjährigen Betrieb nicht aufgetreten, da die Korrosionsbeanspruchung von Motorgehäusen an sich gering ist.

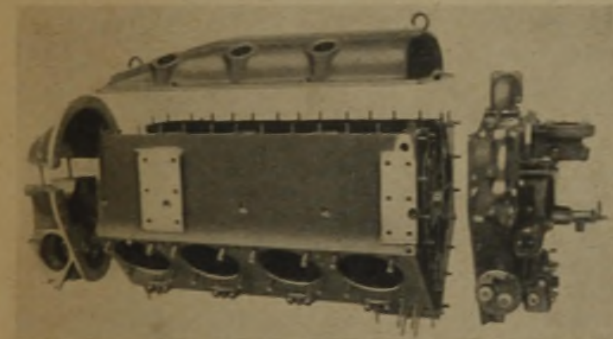


Abb. 3: Kurbelgehäuse des Argus-Flugmotors AS 10 C aus Elektron

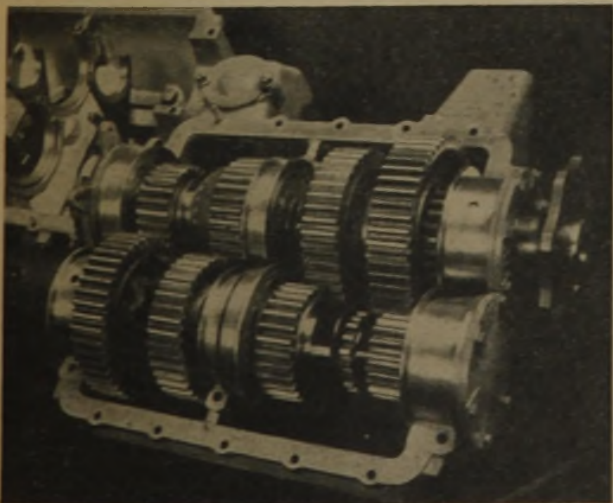


Abb. 4: Getriebegehäuse eines Reichsbahntriebwagens (Elektron-Sandguß)

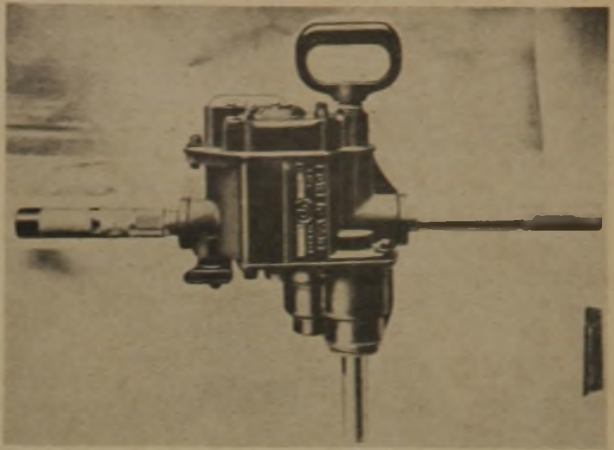


Abb. 5: Elektronguß für Preßluftwerkzeuge (England)

In diesem Zusammenhang sei erwähnt, daß auch im übrigen Fahrzeugbau viele Kurbelgehäuse, Getriebegehäuse u. a. m. sich seit langem gut bewährt haben, wenn ihre Konstruktion materialgerecht durchgeführt wurde, worauf später noch eingegangen werden soll. Auch der deutsche Volkswagen wird das Kurbelgehäuse und eine Reihe anderer Bauteile in Elektronenguß zeigen.

Die Abb. 4 zeigt ein schweres Getriebegehäuse für einen Reichsbahntriebwagen in Elektronenguß. Hier war es notwendig, infolge der hohen Achsdrücke an den Lagerstellen außer der normalen Lagerung zusätzlich Eisenbuchsen anzuordnen, um die Flächenpressung auf der Leichtmetallseite herabzusetzen. Trotz dieser zusätzlichen Schwermetallanordnung konnte das Baugewicht um über 50% gegenüber der alten Ausführung herabgesetzt werden.

Nicht nur im Flugzeugbau, wo durch Gewichtsersparnis die Wirtschaftlichkeit gesteigert werden kann, interessiert die Leichtmetallverwendung, sondern auch an allen ortsfesten Maschinen, bei denen Bauteile beschleunigt und wieder abgebremst werden müssen. Hubarme für eine Zahnradstoßmaschine wurden in Guß als Hohlträger so konstruiert, daß die Querschnitte entsprechend den Biegemomenten bemessen wurden. Mit Rücksicht auf den einseitigen Kraftanschluß, der außer der Biegung zusätzliche Verdrehungsbeanspruchung ergab, zeigte sich der Hohlquerschnitt als der günstigste. Dies ist bei Leichtmetall erforderlich, weil hier der Elastizitätsmodul wesentlich niedriger ist als bei Stahl und Eisen. Die Leistungsfähigkeit der Maschine konnte durch Leichtmetallverwendung wesentlich gesteigert werden. Wieweit eine derartige Steigerung möglich ist, konnte man an einer Zigarettenmaschine feststellen. Durch Leichtmetallverwendung wurden die zu beschleunigenden Massen ohne wesentliche Umkonstruktion derartig verringert, daß bei gleichbleibendem PS-Bedarf die Leistung auf das Dreifache anstieg.

Auch da, wo man Maschinen transportieren muß, bringt Magnesiumguß betriebliche Vorteile, wie die Abb. 5 an einem transportablen Preßluftwerkzeug zeigt. Hier sind das Hauptgehäuse und die verschiedenen angeflanschten Deckel in Magnesiumguß hergestellt. Im gleichen Sinne ist zu erwähnen, daß die verschiedenen Zubehöraggregate von Werkzeugmaschinen und Aufspannvorrichtungen wie Bohrköpfe, Spannplatten u. a. m. in Elektronenguß hergestellt werden, wodurch Montage- und Aufspannzeiten sich wesentlich verkürzen lassen.

Die Abb. 6 zeigt die in Elektronenguß hergestellte Fußsteuerung (Seitensteuerung eines Flugzeuges. Man sieht hier, daß man in diesem Baustoff sehr elegant und organisch konstruieren kann. Der untere Querarm ist auf Torsion und Biegung beansprucht, und infolgedessen als Hohlträger ausgeführt, der nach den Enden zu, entsprechend dem Biegemoment, abnehmenden Querschnitt hat. An der Rückseite der Pedale sind die zur Befähigung der Radbremsen notwendigen Bremszylinder gleichzeitig mit angegossen. Derartige Bauteile wurden früher vielfach aus einer Unmenge von Blecheinzelteilen zusammengenietet. Durch Vereinigung dieser Vielzahl von Einzelteilen zu einheitlichen Gußstücken wurde eine Verbilligung gegenüber der alten Ausführung erzielt, und hier gibt gerade der Elektronenguß außerordentliche Möglichkeiten infolge

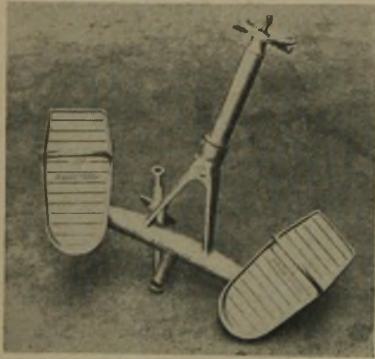


Abb. 6: Fußrasten für Seitensteuer

seines geringen spezifischen Gewichtes; denn vielfach bedeutet der Uebergang von Blechkonstruktionen auf Gußbauteile infolge der hierbei notwendig werdenden Wandstärkenvergrößerung auch eine Gewichtsvergrößerung. Das Bauteil ist insofern sehr hochbelastet, als es für eine Kunstflugmaschine

vorgesehen ist, die sehr hohe Beschleunigungen aufweist. Der Pilot kann sich dabei mit seinem ganzen Gewicht auf die Fußsteuerung abstützen, wodurch Kräfte entstehen, die das Vielfache des Pilotengewichtes ausmachen. Auch hier ist wieder ein Beispiel dafür gegeben, daß die theoretisch geforderte Lackierung in der Praxis nicht immer durchführbar ist. Der Lack tritt sich auf den Fußpedalen schon nach kurzer Zeit ab, und die langjährige Erfahrung hat gezeigt, daß an diesem Bauteil, welches der normalen Witterungsbeanspruchung ausgesetzt ist, keinerlei Korrosion auftritt.

Ein besonders interessantes Beispiel der Gußverwendung zeigt die Abb. 7. Im Flugzeugbau ist man dazu übergegangen, entsprechend der größeren Serienfabrikation, maschinenmäßiger zu arbeiten. Mit Rücksicht auf die schnelle Herstellung von Blechverformungen hat man Maschinen entwickelt, die nach Art

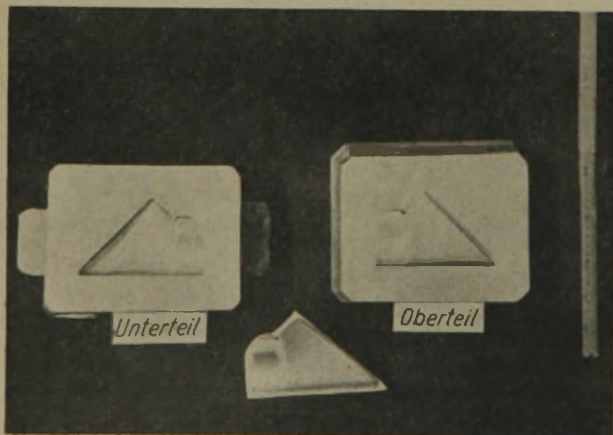


Abb. 7: Gesenkformen aus Elektronenguß

der hydraulischen Pressen die Bleche zwischen Gesenken verformen. Der Vorgang ist so, daß unter Zwischenlegen des Bleches die Gesenke zunächst mit hydraulischem Druck zusammengepreßt werden, dann wird das Querhaupt der Presse gehoben, und durch eine Auslösevorrichtung vom Hubzylinder getrennt, wodurch es mit seinem ganzen Gewicht nach Art des Fallhammers das vorgeformte Blech in das Gesenke unterteil hineinschlägt. Man nennt derartige Maschinen Fallhammerpressen. Hier treten außerordentlich starke Schlagbeanspruchungen auf. Mit Rücksicht auf die leichte Schnittbearbeitbarkeit von Elektronenguß hat man die hierfür zur Verwendung kommenden Gesenke in diesem Material hergestellt. Im Rohguß sind sie um ein Vielfaches teurer als die Graugußgesenke, dagegen fertig bearbeitet preislich oder sogar billiger. In bezug auf die Schnelligkeit in der Herstellung derartiger Gesenke sind sie dem Grauguß weit überlegen. In langjährigem Betrieb hat sich gezeigt, daß die Festigkeit des Leichtmetallausses diesen Beanspruchungen ohne weiteres gewachsen ist. Bisher sind große Serienfabrikationen in Leichtmetallblechen nach diesem Verfahren durchgeführt worden. Neuere Versuche haben gezeigt, daß sich auch Eisenbleche, wie sie der Karosseriebau verwendet, in Elektronengesenk verformen lassen, ohne daß hierbei ein größerer Verschleiß im Gesenk stattfindet.

Für größere Serienherstellung hat sich der Kokillenguß und Spritzguß ausgezeichnet bewährt. So werden z. B. die Ölwanne des Ford-„V8“-Motors in laufenden Serien nach dem Kokillengußverfahren hergestellt. Infolge der größeren Maßhaltigkeit derartiger Gußstücke wird die Schnittbearbeitung auf ein Minimum herabgedrückt. Bei Spritzguß kann sie sogar vollständig eingespart werden.

Die Abb. 8 zeigt verschiedene Spritzgußteile, die in Elektronmetall hergestellt wurden, und die ohne Nacharbeit eingebaut werden können. Auf dem Bild sind das Kurbelgehäuse für Motorrad und verschiedene Ölpumpen dargestellt.

Die Verwendungsmöglichkeit von Guß in Magnesiumlegierungen wird erst dann in das richtige Licht gerückt, wenn sich der Konstrukteur von der althergebrachten Anschauung löst, daß Guß ein Material ist, das sich zwar leicht in jede beliebige Form bringen läßt, aber mindere Festigkeit und geringere Dehnung besitzt, dazu recht spröde ist und infolgedessen für weniger beanspruchte Bauteile verwendbar ist, oder da, wo diese hoch beansprucht sind, mit starker Überdimensionierung vorgesehen werden muß. Wie die bisher gezeigten Anwendungsbeispiele beweisen, läßt sich Magnesiumguß auch einsetzen, wo starke Stoß-, Schlag- und

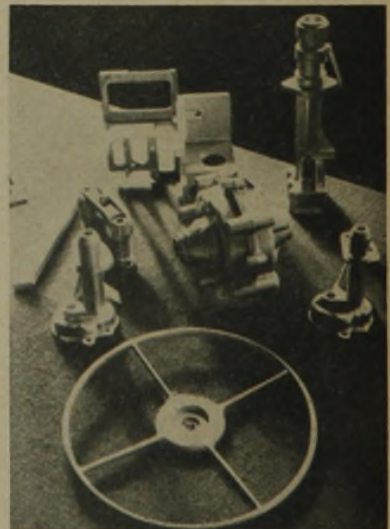


Abb. 8: Verschiedene Spritzgußteile aus Elektronmetall

Ermüdungsbeanspruchungen auftreten. Für den Konstrukteur ist es ganz wesentlich zu wissen, daß Elektronguß bei Überbeanspruchung vor dem Bruch noch starke Deformationen durch Dehnung und plastische Verformung aufnimmt. So wurde z. B. bei dem Bruchversuch einer in Elektronguß hergestellten Gepäcknetzstütze für Eisenbahnfahrzeuge, die einen freitragenden Hebelarm von etwa 40 cm aufweist, bei einer Belastung von 450 kg eine plastische Verformung von 2,5 cm, gemessen am äußersten Punkt des Hebelarmes, ermittelt. Bei 500 kg Belastung trat dann der Bruch ein. Gefordert war eine Bruchlast von 300 kg.

Welche Leistungen man mit Magnesiumguß vollbringen kann, zeigt die Abb. 9. Sie stellt ein Kanonenrad dar, wie es in größeren Serien im In- und Ausland Verwendung findet. Diese Räder wurden in Konkurrenz zu Stahlrädern entwickelt. Beide Konstruktionen wurden den stärksten Stoß- und Ermüdungsbeanspruchungen ausgesetzt, und es zeigte sich, daß bei gleichbleibender Beanspruchung das Stahlrad um 100% schwerer hätte ausgeführt werden müssen. Dieses Rad ist ein typisches Beispiel für die zweckmäßigste, dem

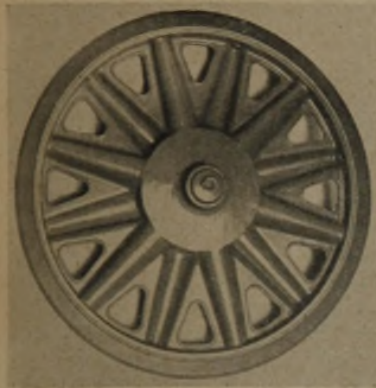


Abb. 9: Geschützrad aus Elektronmetall

Werkstoff angepaßte Konstruktion. Früher sind Räder vielfach so hergestellt worden, daß man eine einfache Scheibe wählte und diese Scheibe durch senkrecht zu ihr angeordnete Rippen aussteifte. Dies entspricht einem Belastungsfall, wie er in der Abb. 10, Nr. 1 gegeben ist, wo ein Steg um die Achse X auf Biegung beansprucht wird. Hier treten an den äußersten Fasern Spannungsspitzen auf, die für den kerbempfindlichen Leichtmetallguß gefährlich werden, und an diesen Stellen zu Anrissen führen. Für die Radkonstruktion wurde mit Rücksicht auf die Seitenstöße der Querschnitt gemäß Nr. 5 gewählt, der diese Spannungsspitzen abbaut und zu einer ermüdungssicheren Konstruktion führt. An dieser Abbildung sei gleich-

zeitig erläutert, daß Querschnitte gemäß Nr. 2 aus Festigkeitsgründen ebenfalls ungünstig sind. Der Querschnitt Nr. 3 ist aus gießtechnischen Gründen zu vermeiden, weil hier ein zu schmaler Kern von flüssigem Metall umgeben ist. Hierüber wird an anderer Stelle noch berichtet. Die in der unteren Reihe dargestellten Querschnitte 4, 5 und 6 sind dagegen für Elektronguß sehr gut brauchbar.

Häufig läßt es sich jedoch nicht vermeiden, daß an größeren Gußstücken — Kurbel- oder Getriebegehäuse und anderen Bauteilen — Wandungen durch Rippen

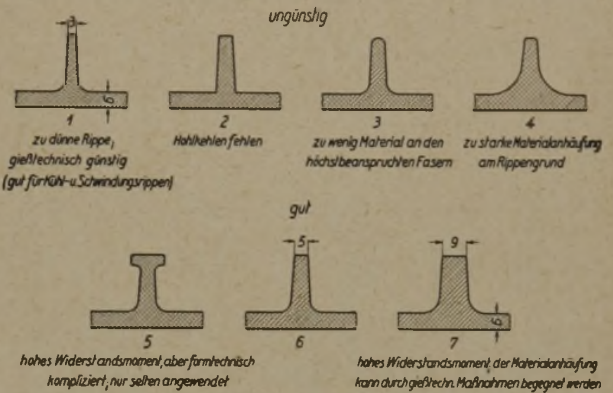


Abb. 11: Gestaltung von beanspruchten Rippen

ausgesteift werden müssen. Die Abb. 11 zeigt für Elektronguß ungünstige und günstige Ausführungsformen. Die Rippe Nr. 1 ist sowohl gießtechnisch wie auch fertigkeitstechnisch ungünstig, weil sie zu schwach bemessen ist. Die Rippe Nr. 2 führt am Übergang zur Wandung wegen der fehlenden Hohlkehlen zu Spannungsanhäufungen und infolgedessen zu Brüchen. Die Rippe Nr. 3 hat an ihrem oberen Ende wegen der vorgesehenen Ausrundung eine Spannungsspitze, die ebenfalls zu Anrissen neigt. Die Rippe 4 hat in ihrem Übergang zur Wandung zu starke Materialanhäufung, die zu schlechter Gußqualität führt, während die Rippen 5, 6 und 7 festigkeitsmäßig in Ordnung gehen. Aus Gründen der Gewichtsersparnisse werden oft Aussparungen, und Erleichterungslöcher an Bauteilen vorgesehen, die der Gießer zudem für Kernlagerung mitbenutzt. An derartigen Löchern tritt ebenfalls Randspannung auf, die durch entsprechende Auswulstungen herabgesetzt werden muß. Die Abb. 12 zeigt richtige und falsche Ausführungsformen. Spannungsanhäufungen können auch durch die allgemeine äußere Formgebung des Bauteils auftreten und können durch geringfügige Änderungen dieser Formgebung vermieden werden. Die Abb. 13 zeigt die alte und neue Ausführung eines Kurbelgehäuses. Durch die entsprechend größere Abrundung der Unterseite konnten Ermüdungsbrüche, die an der alten Ausführung auftraten, bei der neuen mit Sicherheit beseitigt werden. Bei der Konstruktion von Gußstücken ist es überhaupt notwendig, daß der Konstrukteur fürs erste noch enger mit dem Gießer zusammenarbeitet. Es sei deshalb an dieser Stelle darauf noch hingewiesen, daß die Herstellerfirma von Elektronmetall in Bitterfeld eine konstruktive Beratungsstelle unterhält, die jedem Verbraucher zur kostenlosen Benutzung zur Verfügung steht.

Die Herstellung von Magnesiumgußstücken unterscheidet sich gießtechnisch in manchen Beziehungen von der Gußherstellung in anderen Materialien. Der Konstrukteur kann nicht ohne weiteres beim Entwurf seiner Gußstücke von dem Gesichtspunkt ausgehen, daß das Gußstück infolge seiner gegebenen geme-

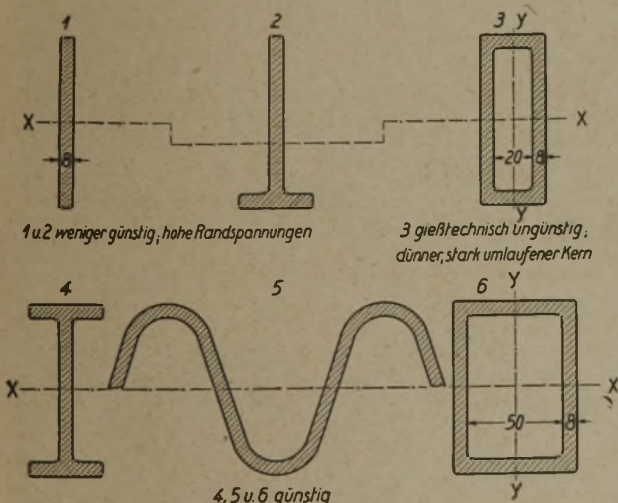


Abb. 10: Querschnitte mit großem Widerstandsmoment (formfest gegen Biegung)

trischen Form am zweckmäßigsten so oder so eingeformt und vergossen wird. Es sind auch noch andere Gesichtspunkte hierfür maßgebend, wie z. B. die Anwendung von Schreckplatten u. a. m. Hierbei spielt eine Reihe von metallurgischen Fragen eine wesentliche Rolle. In der erwähnten Beratungsstelle für

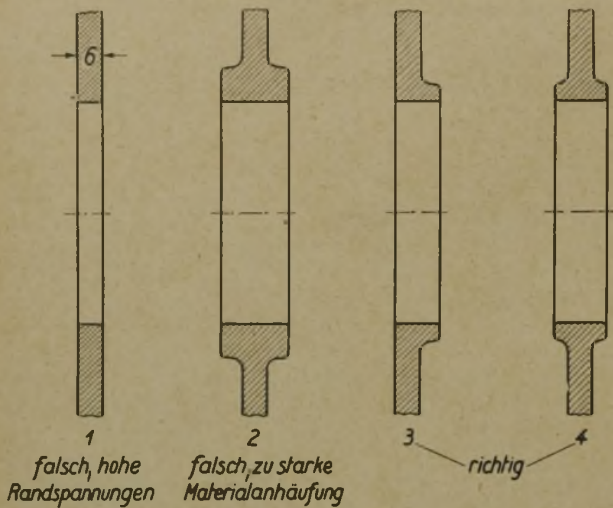


Abb. 12: Ausbildung von Wulsten an beanspruchten Lochrändern

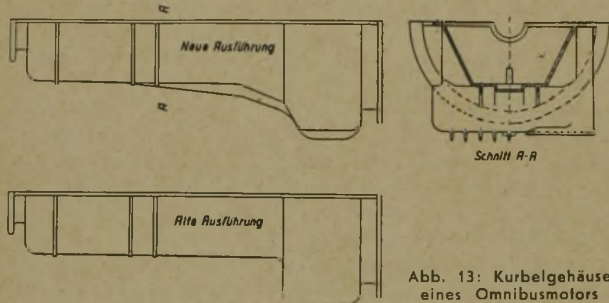


Abb. 13: Kurbelgehäuse eines Omnibusmotors

Leichtmetallkonstruktionen werden alle diese Bauteile zunächst nach festigkeitstechnischen Gesichtspunkten durchkonstruiert und dann gemeinsam mit dem Gießereileiter in bezug auf zweckmäßigste Herstellbarkeit durchgesprochen. Dabei ergeben sich oft grundsätzliche Konstruktionsänderungen, und aus dem besten Kompromiß zwischen beiden Wünschen seitens des Gießers entstehen dann die endgültigen Formen, die sich gießtechnisch einwandfrei herstellen lassen und alle Forderungen über die später im praktischen Betrieb sich ergebenden Beanspruchungen erfüllen.

Leichtmetall in Form von Guß reicht naturgemäß für alle Zwecke des Leichtbaues nicht aus. Die in Stahl hergestellten Walzprofile werden in Leichtmetall auf Strangpressen gepreßt, da dieses Verfahren sich als sehr wirtschaftlich erwiesen hat und ausgezeichnete Materialqualitäten ergibt. Es hat weiterhin den Vorteil, daß eine Reihe von Profilen, die sich in der Walze überhaupt nicht, oder nur sehr schwer herstellen lassen, nach dem Preßverfahren ohne weiteres herstellbar sind. Die Abb. 14 zeigt derartige Preßprofile. Ein besonders interessantes ist in der zweiten Reihe links angegeben. Es stellt das Obergurtprofil eines Eisenbahntriebwagens dar, an dem nach unten die Flanschen zur Befestigung der Seitensäule, nach oben die Flanschen zur Befestigung der Dachspriegel, links die an der Außenwand des Fahrzeuges angeordnete Regenrinne und rechts die an der Innenseite angeordnete Leiste zur Befestigung des im

Wagen längs durchlaufenden Gepäcknetzes angeordnet sind. Hier wurde angestrebt, den höheren Materialpreis, der oft einer wirtschaftlichen Anwendung von Leichtmetallen für die Zwecke des Leichtbaues im Wege steht, dadurch auszugleichen, daß man eine Mehrzahl von Eisen- und Stahlprofilen bei der alten Ausführung in der Leichtmetallausführung zu einem einzigen ersetzt, da hierdurch an Lohnkosten eingespart wird. Interessant in diesem Zusammenhang ist auch zu wissen, daß bei derartigen Profilen, wie sie die Abbildung zeigt, die Matrizenkosten in der Größenordnung von 100 RM. bis 400 RM. betragen. Ein entsprechender Walzensatz für die Herstellung gewalzter Profile in Stahl und Eisen ist wesentlich teurer. So kann es sich dann der Konstrukteur leisten, bei Entwicklungsarbeiten und für die Herstellung kleinerer Serien ein Spezialprofil aufzuzeichnen, das seinen Forderungen in bezug auf Festigkeit und Ersparnissen an Werkstattlöhnen in der idealsten Weise entspricht.

Die Abb. 15 zeigt einen Ölkühler, der ebenfalls für Eisenbahnfahrzeuge hergestellt wurde. Er besteht aus einer Reihe von Röhren, die mit radialen Rippen nach dem Preßverfahren hergestellt wurden. An ihrem Ende wurden sie mit dem Sammelrohr verschweißt. Der Kühler ist aus der sehr gut schweißbaren Legierung AM 503 hergestellt und kann im praktischen Betrieb bei geringstem Baugewicht einen Druck von 15 Atm. aufnehmen. Hier handelt es sich um ein Bauteil, das mit Rücksicht auf die größte Kühlwirkung nicht lackiert werden durfte, zudem unter dem Fußboden eines Triebwagens im Fahrwind angeordnet und somit erhöhten Korrosionsbeanspruchungen ausgesetzt ist. Der Kühler ist seit zwei Jahren ohne irgendwelche Korrosionsschäden im Betrieb.

Die Abb. 16 zeigt einen aus Elektronmetall-Preßprofilen hergestellten Kabinenaufbau eines Flugzeuges. Die Profile sind ebenfalls durch autogene Schweißung miteinander verbunden. Das Biegen der Profile mußte in der Wärme vorgenommen werden,

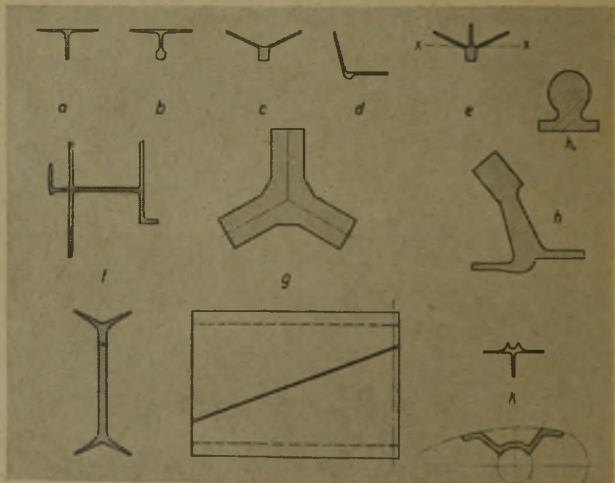


Abb. 14: Leichtmetall-Preßprofile



Abb. 15: Ölkühler aus Elektron

wie überhaupt grundsätzlich alle Verformungen von Profilen und Blechen warm durchgeführt werden müssen. Die hierbei einzuhaltenden Temperaturen liegen zwischen 250 bis 300°, und es hat sich gezeigt, daß die vom Verbraucher oft befürchtete Schwierigkeit einer derartigen Warmverformung nicht besteht. Der gesamte Flugzeugbau und viele andere Industriezweige arbeiten nach diesem Verfahren, teilweise mit der offenen Flamme, teilweise mit Glühöfen. Das Verfahren ist insofern narrensicher, als die Magnesiumlegierungen den Vorteil der Unveredelbarkeit haben, d. h. häufigeres Glühen innerhalb der vorgesehenen Temperaturgrenze verändert die Materialeigenschaften nicht. Zu kaltes Verformen bzw. zu hohe Temperaturen führen zu Materialbrüchen. Jedes Bauteil, das in der Warmverformung ohne Bruch die Endform erhalten hat, hat mit Sicherheit die Festigkeit des Anlieferungszustandes.

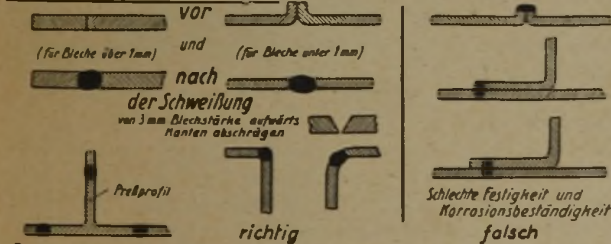


Abb. 16: Kabinenraumüberdachung in Elektron

Für das Schweißen der Magnesiumlegierungen sind besondere Schweißvorschriften entwickelt worden. Es sei hier nur das Wesentlichste herausgezogen und in der Abbildung 17 dargestellt. Wie bei Aluminiumlegierungen ist auch für Magnesium die Verwendung eines besonderen Schweißmittels notwendig, das wegen seiner Chloridhaltigkeit nach dem Schweißen gewissenhaft entfernt werden muß. In der Abbildung sind falsche und richtige Schweißnahtanordnungen und die zweckmäßige Reihenfolge der verschiedenen Arbeitsgänge, die beim Schweißen einzuhalten sind, dargestellt. Nach diesem Verfahren sind sowohl Öl- und Brennstoffbehälter wie auch Behälter für andere Zwecke, Gerüstkonstruktionen, Pilotensitze und Passagiersitze in- und ausländischer Verkehrsflugzeuge hergestellt worden und haben sich außerordentlich gut bewährt.

Neuerdings laufen Versuchsarbeiten in Magnesiumrohren, auch die Sitzgestelle von Eisenbahnfahrzeugen zu schweißen. Hier wird die Forderung gestellt, daß die Rohre ein metallisch blankes Aussehen haben, ähnlich, wie dies bei verchromten Stahlrohren oder

Schweißnahtanordnungen



Reihenfolge der Schweißarbeit

1. Schweißmittel aufbringen
2. Nehtschweißen
3. Ausrichten
4. Schweißmittel aufbringen
5. Nehtschweißen
6. Ausrichten mittels Holzhammer
7. Sorgfältiges Abwaschen des Schweißmittels. Bei schlecht zugänglichen Schweißnähten ist eine zirka zweistündige Behandlung in einer 5%igen Kaliumbichromatlösung notwendig
8. Beizen. Beize besteht aus: 20 Liter Wasser, 20 Liter Salpetersäure (40%ig), 7 kg Beizsalz
9. Nachspülen in Wasser
10. Trocknen
11. Endgültiges Ausrichten
12. Leckieren

Abb. 17: Werkstattanweisungen für Verarbeitung von Elektronmetall

polierten Aluminium- oder Hydronaliumrohren der Fall ist. Bei Elektronmetall kann man dieses Aussehen wohl erzielen, aber die Politur ohne Schutzanstrich nicht erhalten. Versuche haben gezeigt, daß sich derartige Rohrgerüste nach dem Spritzverfahren mit der besonders korrosionsbeständigen Hydronaliumlegierung überspritzen und polieren lassen, wodurch die genannte Forderung erfüllt wird. Man hat dadurch den Vorteil, an Stelle von Aluminiumlegierungen Elektronmetall zu verwenden und hierdurch eine Gewichtsersparnis von etwa 30% gegen den Aluminiumlegierungen zu erzielen.

In Form von Gesenkpreßteilen und Schmiedestücken haben die Magnesiumlegierungen sich ebenfalls einen großen Markt erobert. Dieser Materialzustand eignet sich besonders für Bauteile, die den allerhöchsten Beanspruchungen ausgesetzt sind. In der Abb. 18 sind Motorträger für die modernen, hochwertigsten Flugzeuge dargestellt. In ihnen sind Motore bis zu 1000 PS eingebaut. Auch für kleinere Bauteile, wie die vielen Armaturen des Maschinenbaues haben sich Elektrongesenkpreßteile bestens bewährt. Welche Bedeutung die Verwendung der großen Schmiedestücke für den Flugzeugbau und andere Spezialgebiete gefunden hat, beweist wohl am besten der Umstand, daß die umfangreichen Maschinenanlagen, die für die Fabrikation derartiger Bauteile bestanden und bis zu Preßdruckeinheiten von 7000 Tonnen gingen, in diesem Jahr um weitere Aggregate vergrößert und eine Schmiedepresse von 15 000 Tonnen Preßdruck in Betrieb genommen werden mußte, so daß man heute auf der Leichtmetallseite mit den größten Schmiedepressen arbeitet, wie sie auch für Stahl vorgesehen sind. Fürs erste wird es auch hier notwendig sein, wie das über das Gußmaterial bereits ausgeführt wurde, daß der Verbraucher, d. h. der in der Praxis stehende Leichtbaukonstrukteur, noch eng mit dem Hersteller zusammenarbeitet, um in gemeinsamer Arbeit die zweckmäßigste Gestaltung der Elektronschmiedeteile vorzunehmen, die sich schiedetechnisch bequem und fehlerfrei herstellen lassen und alle Festigkeitsforderungen erfüllen.

Eine sehr ausgedehnte Anwendung haben die Magnesiumlegierungen in Form von Blech gefunden. Hier sind es zwei Legierungen, die entwickelt wurden, und zwar die Legierung AM 503 mit niedrigerer Festigkeit und voller Schweißbarkeit. Sie ist die am besten schweißbare Legierung unter allen Leichtmetallen. In ihr werden Öl- und Brennstoffbehälter des Flugzeugbaus u. a. m. hergestellt.

Die zweite, unter der Bezeichnung AZM auf den Markt gebrachte Legierung weist eine größere Festigkeit auf, und sie findet insbesondere Anwendung für höher beanspruchte Blechkonstruktionen.

In dieser Legierung lassen sich nur in beschränktem Umfang Schweißkonstruktionen ausführen. Für die Herstellung von geschweißten Rohr- oder sonstigen Profilgerüsten reicht die Schweißbarkeit voll aus, dagegen nicht für die Herstellung kompli-



Abb. 18: Motorträger aus Elektron (geschmiedet)

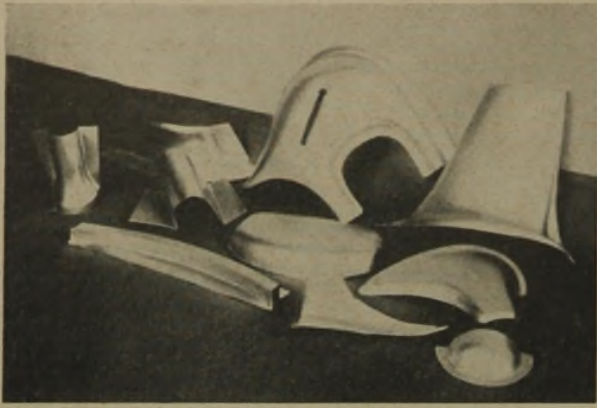


Abb. 19: Im Gesenk gepreßte Verkleidungsteile aus Elektronblech

zierter Behälter. Beide Legierungen werden auch in Form von Preßprofilen und sonstigen Armaturen geliefert. Sowohl Preßprofile und Bleche als auch Gußstücke lassen sich untereinander verschweißen, jedoch nur unter der Bedingung, daß gleiche Legierungen miteinander verbunden werden, da Schweißverbindungen zwischen verschiedenen Legierungen zu Schweißrissigkeit neigen.

Die Abb. 19 zeigt ein sehr großes Anwendungsgebiet der Blechverkleidungen, wie sie u. a. besonders im Flugzeugbau mit großem Vorteil benutzt werden. Die hierbei gegenüber anderen Baustoffen, selbst Aluminiumlegierungen, erzielten Gewichtsersparnisse betragen bis zu 25%. Die Abb. 20 zeigt einen aus Elektronblech hergestellten großen Kesselwagen für Benzintransporte. Hier ermöglicht die Elektronverwendung eine beträchtliche Kapazitätssteigerung pro Fahrzeug, denn das eingesparte Gewicht wurde hier zur Vergrößerung des Behälters ausgenutzt. Die Abb. 21 zeigt eine aus Preßprofilen, gezogenen Blechprofilen und Blech genietete Elektronkonstruktion als Lastwagenaufbau. Der gleiche Schritt, der von Stahl in ähnlicher Konstruktion auf Aluminium gemacht wurde, konnte von da aus weiter auf Magnesiumlegierungen getan werden, um noch weitere Gewichtsersparnisse zu erzielen. Als Nietmaterial für Magnesiummetalle wird eine spezielle Aluminiumlegierung mit 3—5% Magnesium verwendet, die eine Scherfestigkeit von 16—20 kg/mm² aufweist. Sie besitzt gegenüber dem Magnesium ein praktisch bedeutungsloses elektrolytisches Spannungsfälle, so daß eine Isolation der



Abb. 20: Benzintankwagen USA. aus MG-Leg.

Nieten gegenüber dem Elektronmetall nicht erforderlich ist. Die Nieten lassen sich kalt schlagen. Als Lochlaibungsdrücke können bis zu 40 kg/mm² zugelassen werden. Bei Nietanschlüssen, die auf Ermüdung und Stoß beansprucht werden, ist der Lochlaibungsdruck entsprechend zu erniedrigen.

Es war nur ein sehr gedrängter Überblick, der über das umfangreiche Gebiet der Herstellung und Anwendungsmöglichkeit der Magnesiumlegierungen im vorgesehenen Rahmen gegeben werden konnte. Im gleichen Sinne, wie wir auf dem Gebiet des Leichtbaus mitten in einer stürmischen Entwicklung stehen, ist auch auf seiten des Leichtmetallherstellers die Entwicklung noch im vollen Fluß. Hierbei werden zwei Wege eingeschlagen. Einmal muß in gemeinsamer Arbeit mit dem Verbraucher auf Grund der gegebenen technischen Möglichkeiten die weitere Leichtmetallanwendung, ihre zweckmäßige Konstruktion und wirtschaftliche Werkstattverarbeitung gefördert werden. Es sei darauf hingewiesen, daß außer dem Flugzeugbau und der übrigen Rüstungsindustrie, die an ihren modernsten Erzeugnissen eine zunehmende Verwendung von Leichtmetalllegierungen aufweisen, in kurzer Zeit auch der Fahrzeugbau in größerem Ausmaß Magnesiumerzeugnisse auf den Markt bringen wird. So werden heute schon Eisenbahnfahrzeuge entwickelt, an denen Gußstücke in der Größenordnung von ganzen Drehgestellen Verwendung finden. Auf Grund der bisher gesammelten Erfahrungen auf anderen Gebieten versprechen diese Versuche ein voller Erfolg zu werden.

Der zweite Weg ist der der Weiterentwicklung von neuen Legierungen und der Verbesserung der Eigenschaften vorhandener. Zur Zeit wird schon von Verbrauchern eine neue Legierung für Preßprofile und Bleche geprüft, die gegenüber der erwähnten Legierung AZM den Vorteil größerer Knickfestigkeit und besseren Korrosionsverhaltens aufweist. In dieses Gebiet gehören auch die Arbeiten über das elektrische Widerstandsschweißen. Die bis heute durchgeführten Versuche lassen erwarten, daß man größere Blechkonstruktionen bis zu etwa 3 mm Materialstärke (und das dürfte z. B. für den Fahrzeugbau und Flugzeugbau ausreichen) anstatt zu nieten, punktschweißen kann.



Abb. 21: Lastwagenaufbau aus Elektron

Der Flugzeugbau ist seit jeher einer der größten Schrittmacher des Leichtbaus gewesen. Sehr vieles läßt sich von dort aus auf die anderen Gebiete der Technik übertragen. Für den Flugzeugbau ist Elektronmetall einer seiner Hauptbaustoffe geworden.

Was die Magnesiumlegierungen dort bei allerhöchsten Anforderungen in praktischer Bewährung unter Beweis gestellt haben, das werden sie mit Bestimmtheit auf allen Gebieten des Leichtbaus leisten.

Das Gießen als Verarbeitungsform der Leichtmetalle *)

Von Ing. Nußbaum, Honselwerke AG., Meschede

Neben der Verarbeitungsform der Leichtmetalle durch Pressen, Schmieden, Ziehen und spanabhebende Bearbeitung nimmt die Formgebung durch Gießen einen breiten Raum ein. Das Gießen hat gegenüber anderen Verarbeitungsformen den Vorteil größter Gestaltungsmöglichkeit. Es lassen sich allerdings nicht immer die Festigkeitswerte erreichen, die bei anderen Verarbeitungsformen möglich sind.

Durch die Entwicklung der Gießtechnik, der Gußlegierungen und der Aushärteverfahren ist es heute möglich, komplizierte Konstruktionen, die vor einigen Jahren nur durch Zusammenschweißen, Nieten, Verschrauben oder andere Verbindungsverfahren herzustellen waren, in einem Stück zu gießen. Bei gießtechnisch richtiger Konstruktion erfüllen derartig gegossene Teile meistens alle Ansprüche. Diese Vorteile werden heute im Fahrzeug-, Flugzeug-, Schiffs- und allgemeinen Maschinenbau ausgenutzt.

Die gesamte Leichtmetallgußherzeugung beruht stofflich auf der Verarbeitung von zwei Legierungstypen, die als Hauptbestandteile Aluminium oder Magnesium enthalten.

Um zu entscheiden, für welche Gießmethode sich ein Gußstück eignet, ist die genaue Kenntnis der Gießbarkeit der Leichtmetalllegierungen erforderlich. Unter Gießbarkeit versteht man, daß eine Leichtmetalllegierung die für sie eigene Form so ausfüllt, ohne daß dadurch am Gußstück schadhafte Eigenschaften, wie Innenlunker, Außenlunker, Schwindrisse und Spannungen festzustellen sind.

Bei den Leichtmetalllegierungen ist zwischen zwei wesentlichen Erstarrungsarten zu unterscheiden:

1. Legierungen mit eutektischer Erstarrung,
2. Legierungen mit Erstarrungsintervall.

Typisch eutektisch erstarrende Legierungen sind die, die bis zu 18% Silizium enthalten. Sie haben einen fixen Erstarrungspunkt und sind fast unempfindlich gegen Feinlunker und Warmrisse. Festigkeitswerte liegen für diese Legierungen zwischen 17 und 24 kg/mm², Dehnungswerte zwischen 2 und 8%.

Durch Vergütungsverfahren lassen sich die Festigkeitswerte auf 25 bis 32 kg/mm² steigern, während die Dehnung auf 0,7 bis 4% absinkt.

Die hauptsächlich vorkommende Legierung auf dieser Basis ist Silumin bis zu 13% Siliziumgehalt. Legierungen mit Erstarrungsintervall sind die der Gruppe G Al Cu und G Al Zn Cu. Diese Legierungen haben keinen fixen Erstarrungspunkt, sondern gehen zuerst von dem flüssigen in den breiigen Zustand über, um erst bei tieferer Temperatur zu erstarren. Die Festigkeitswerte liegen hier zwischen 12 und 20 kg/mm², die Dehnung zwischen 0,5 und 4%.

Bei den Legierungen der Gruppe G Al Cu besteht u. U. die Gefahr der Feinlunkerung, während die Legierungen der Gruppe G Al Zn Cu zu Warmrissen neigen.

Die bekanntesten Legierungen dieses Typs sind Deutsche und Amerikanische Legierung.

An Gießmethoden werden heute im Leichtmetallguß angewandt:

1. Sandguß,
2. Kokillenguß,

3. Spritzguß,
4. Preßguß,
5. Sturz- und Schleuderguß.

Sandguß:

Die weitaus verbreitetste Art der Gußherstellung ist auch für den Leichtmetallguß das Vergießen in Sandform. Geformt wird nach einem Holz- oder Metallmodell, von Hand oder auf Maschine.

Bei kleineren Stückzahlen wählt man ein Holzmodell, wobei man die rauhere Oberfläche der Abgüsse mit in Kauf nimmt, während man sich für größere Stückzahlen, die dann auf Maschine geformt werden, für ein Metallmodell entscheiden wird. Die Kosten des Metallmodells sind natürlich höher, bieten aber auf der anderen Seite den Vorteil längerer Lebensdauer des Modells und sauberer und genauerer Abgüsse.

In Sandguß lassen sich schwierige Stücke herstellen, da man durch komplizierten Kernaufbau fast allen Anforderungen in bezug auf die Formgebung des Stückes gerecht werden kann.

Es lassen sich in Sandguß Stücke von wenigen Gramm bis zu einer Tonne Stückgewicht herstellen, wobei Ausmaße bis zu einigen Metern möglich sind. Einige Beispiele zeigen die nachstehenden Abb. 1—6.

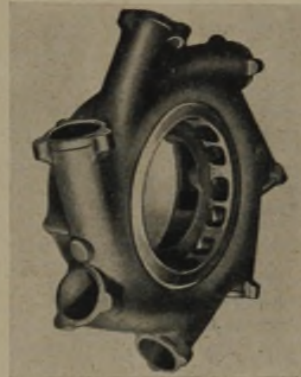


Abb. 1: Aluminium-Sandguß, Ventilatorgehäuse



Abb. 2: Aluminium-Sandguß, Schutzkappe für Turbinengehäuse; 2,40 Meter hoch

Der Kokillenguß:
Eine weitere Verarbeitungsform der Leichtmetalle ist das Vergießen von Hand in Eisenformen, der Kokillen- oder Dauerformguß. Werden an einen Abguß bezüglich der Oberflächenbeschaffenheit sowie der Festigkeitseigenschaften höhere Anforderungen gestellt als an Sandguß, so wird man sich, sofern die Stückzahl und die Konstruktion die höheren Kokillenkosten rechtfertigen, für Kokillenguß entscheiden. Die Hauptvorteile des Kokillengusses sind:

1. Höhere Festigkeit, hervorgerufen durch die schnellere Erstarrung und dadurch bedingtes feineres Gefüge.
2. Die Dichtigkeit der Gußstücke ist besser.
3. Maßgenauigkeit von 0,1 bis 0,3 mm und daher Ersparung von größeren Bearbeitungszugaben.

4. Glattere Oberfläche, daher zum Schleifen und Polieren gut geeignet.
5. Die Anlaufzeit ist durch die Anfertigung der Kokille länger. Nach Fertigstellung der Kokille lassen sich jedoch arbeitstäglich größere Stückzahlen herstellen.
6. Bei größeren Stückzahlen ist der Kokillenguß billiger als Sandguß.

*) Werkphoto: Honselwerke AG., Meschede

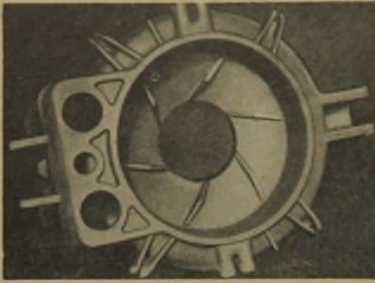


Abb. 3: Aluminium-Sandguß, Separatorgehäuse

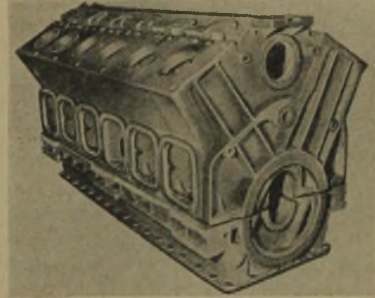


Abb. 4: Aluminium-Sandguß, Zylinderblock mit Kurbelgehäuse, zusammen etwa 850 Kilogramm, 144 Einzelkerne



Abb. 5: Einzelteile aus Aluminium-Sandguß

ein glattes Entfernen der Kerne möglich ist. Abb. 6 zeigt ein typisches Kokillengußstück.

Hat ein Gußstück z. B. spiralförmige Hohlräume, die ein Ziehen des Eisenkerns unmöglich machen, so verwendet man eine kombinierte Kokille, d. h., die obenerwähnten Hohlräume werden durch einen Sandkern ausgefüllt, der später ausgeschlagen wird. Ein solches Stück zeigen Abb. 7 und 8.

Der Spritzguß:

Das Spritzgußverfahren besteht im wesentlichen darin, daß flüssige Leichtmetalllegierungen auf Spezialmaschinen unter Verwendung von Preßluft in hochwertige Stahlformen gespritzt werden. Es eignet sich am besten für kleine, dünnwandige, verwinkelte Massenartikel, die sich nach anderen Gießverfahren durch den geringen statischen Druck nicht herstellen lassen. Durch die Eigenart des Verfahrens kann es vorkommen, daß durch mitgerissene Luft kleine Hohlräume im Material entstehen können. Bohrungen werden mit einer Genauigkeit von 0,03 bis 0,05 mm einge-



Abb. 6: Aluminium-Kokillenguß



Abb. 7: Aluminium-Kokillenguß

Da beim Kokillenguß im Gegensatz zum Sandguß die Kerne meistens aus Gußeisen oder Stahl angefertigt sind, können nur Leichtmetalllegierungen mit geringem Schwindmaß verwendet werden, da sonst beim Erstarren die Gußstücke auf die Kerne aufschumpfen und ein Entfernen der Kerne unmöglich wird. Aus diesem Grunde erhalten die Kerne einen „Anzug“ von 1 bis 2%, wodurch naturgemäß die durch den Kern gebildeten Partien der Gußstücke kornisch werden. Bei der Konstruktion von Kokillengußteilen sind nach Möglichkeit unterschrittene Kernpartien zu vermeiden, d. h., man soll möglichst so konstruieren, daß

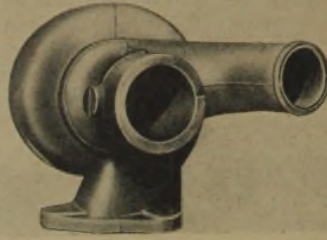


Abb. 8: Aluminium-Kokillenguß

längungskosten der Gießform ist das Verfahren erst bei Stückzahlen von mindestens 5000 an aufwärts wirtschaftlich.

Abb. 9 bis 11 zeigen einige für die Herstellung in Spritzguß gut geeignete Teile.

Der Preßguß:

Beim Preßgußverfahren wird im Gegensatz zum Spritzgußverfahren das Material im breiigen Zustand verarbeitet. In Spezialmaschinen wird der Brei in eine Preßkammer gefüllt und mittels Kolbendrucks in die Form eingepreßt. Auch ist es möglich, im Preßgußverfahren durch den größeren Formenaufnahmetisch größere Teile herzustellen als beim Spritzguß. Die sehr hohen Formkosten machen sich auch hier erst bei einer Fabrikation ab 10 000 Stück bezahlt. Die Genauigkeit der hergestellten Stücke schwankt je nach Form und Abmessung zwischen 0,03 und 0,06 mm.

Bolzen und Büchsen lassen sich auch hier mit der gleichen Genauigkeit einpressen. Die mit solcher Genauigkeit hergestellten Teile kann man als „einbaufertig“ bezeichnen.

Abb. 12a und 12b stellen Seitenteile für Registrierkassen dar, bei denen sämtliche Stahlachsen und Büchsen — in diesem Falle über 20 je Seitenteil — mit eingepreßt wurden. Die Anfertigung solcher Abgüsse und der dazu erforderlichen Form kann nur von besonders qualifizierten Facharbeitern ausgeführt werden.

Daß außerdem hierzu lange Erfahrungen erforderlich sind, versteht sich von selbst.

Da das Sturz- und Schleudergußverfahren für Gußstücke des Maschinenbaues und der allgemeinen Konstruktion seltener in Frage kommt, erübrigt es sich, hierauf näher einzugehen.

Über die besprochenen Gießverfahren ist noch zu sagen, daß einwandfreie Ergebnisse nur dann zu erzielen sind, wenn alle Dinge, die den Gießvorgang beeinflussen, entsprechend beachtet werden, wie folgende Einzelheiten:

Sandzusammensetzung, Gießtemperatur, Anordnung der Anschnitte, Querschnittsbemessung der Steiger, deren Lage und Anordnung, Anlegen von Abschreckplatten, bei Kokillen Bemessung der Kokillienwandstärke zwecks gleichmäßiger Erstarrung des flüssigen

spritzt. Weiterhin lassen sich Büchsen und Stifte mit der gleichen Genauigkeit einspritzen. Bei dieser Genauigkeit bedürfen die Teile zum Montieren fast keiner Nacharbeit.

Infolge der sehr hohen Herstellungskosten

des Verfahrens

ist das Verfahren erst bei Stückzahlen von mindestens 5000 an aufwärts wirtschaftlich.

Abb. 9 bis 11 zeigen einige für die Herstellung in Spritzguß gut geeignete Teile.



Abb. 9: Aluminium-Spritzgußteile

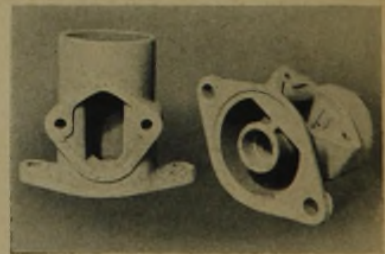


Abb. 10: Gehäuse (Spritzguß)

Materials sowie Anwärmen, Kühlen und Schlichten der Kokillen.

Nur gut eingerichtete Gießereien mit langjähriger Erfahrung bieten eine Gewähr dafür, daß die vorstehend genannten Punkte genauestens beachtet werden. Nur solche Gießereien verfügen über geeignete Prüf-



Abb. 11: Ankerträger (Spritzguß)

anlagen, wie chemische, physikalische und röntgenologische Laboratorien, und bieten daher dem Konstrukteur Gewähr dafür, daß stets einwandfreie Abgüsse gleichbleibender Qualität zum Einbau kommen. Durch die Zusammenarbeit zwischen Konstrukteur und Gießer sind in den letzten Jahren bereits beachtliche Erfolge erzielt worden. Es liegt jedoch im beiderseitigen Interesse, daß diese Zusammenarbeit noch enger gestaltet wird, und zwar so, daß Stücke, die eine komplizierte Formgebung haben, schon im Entwurf durch die Zusammenarbeit mit dem Gießer

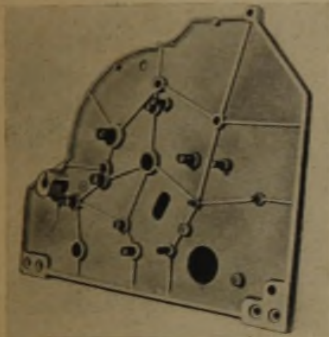


Abb. 12a: Aluminium-Preßguß



Abb. 12b: Aluminium-Preßguß

so entwickelt werden, daß später bei der Anfertigung der Modelle und der Formen keine besonderen Schwierigkeiten auftreten. Hierdurch lassen sich nachträgliche Änderungen konstruktiver Art vermeiden,

wodurch sich wertvolle Zeit und Kosten ersparen lassen.

Die Auswahl der richtigen Leichtmetallegerungen richtet sich einerseits nach den verlangten Festigkeitseigenschaften, andererseits nach den jeweils zur Anwendung gelangenden Gießverfahren. Bei der Formgebung des Stückes ist u. a. zu achten auf die richtige Größenanordnung der Hohlkehlen, die Vermeidung scharfer Kanten und größere Materialanhäufung, wie z. B. das Anbringen von zu starken Augen und Nocken und das Zusammentreffen mehrerer Verstärkungsrippen an verhältnismäßig dünnwandigen Stücken.

Gerade durch diese starke Materialanhäufung entsteht im Innern des Gußstückes der gefährliche Sauglunker, und in den Übergängen zu den dünneren Partien sind Rißbildungen fast nicht zu vermeiden.

Zum Anbringen der Steiger sind entsprechende Flächen vorzusehen. Die Formgestaltung soll möglichst so erfolgen, daß das Stück sich aus der Form ausheben läßt, d. h., ohne Kern zu formen ist. Es wird häufig der Fehler gemacht, daß glatte Flächen durch eine Aussparung oder Unterschneidung unterbrochen werden, die dann nur mit Kern zu formen sind.

Bei Vermeidung dieser Fehler wird in den meisten Fällen sowohl das Modell als auch der Abguß billiger*).

Der heutige Stand der Leichtmetallguß-Industrie ermöglicht die Verwirklichung der durch den Fortschritt der Technik verlangten Leistungssteigerung.

Auch als Austauschwerkstoff hat sich der Leichtmetallguß in fast allen Industriezweigen bewährt. In vielen Fällen brachte dieser Werkstoffaustausch erhebliche Vorteile mit sich, wie z. B. höhere Korrosionsbeständigkeit; dadurch trägt auch der Leichtmetallguß zur Durchführung des Vierjahresplanes wesentlich bei, wobei das geringe spezifische Gewicht einen Ausgleich für den höheren Kilopreis gegenüber den früher verwendeten Werkstoffen bietet.

*) Ueber werkstoffgerechten Entwurf von Leichtmetallgußstücken sind zwei Schriften erschienen, und zwar: Der Aufsatz von P. Spitaler, Bitterfeld, in der Zeitschrift „Die Gießerei“ 1937, Heft 16, und der Aufsatz von Ing. W. Harll, Frankfurt (Main), in der Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure, Band 77, 1933, Nr. 51.

Die Verarbeitung der Leichtmetalle durch spanlose Formung und Nietung

Von Dr.-Ing. Emil von Rajakovics, Dürener Metallwerke AG., Berlin-Borsigwalde

Für den erdgebundenen Leichtbau war und ist der Flugzeugbau in vielen Fragen richtungweisend. Es sollen daher im folgenden zwei Fragen, die derzeit im Flugzeugbau auf dem Gebiete der Werkstoffauswahl bzw. der Verarbeitung des Werkstoffes im Vordergrund des Interesses stehen, besonders eingehend behandelt werden. Diese Fragen betreffen die Entwicklung neuer Legierungen für das Tiefziehen und das Nieteln.

Tiefziehen:

Bei der Schaffung einer geeigneten Tiefziehlegierung treten drei Problemstellungen auf, und zwar:

1. Die Werkstoffauswahl,
2. die Prüfung des Werkstoffes auf seine Eignung zum Tiefziehen, und
3. die Ermittlung der günstigsten Ziehbedingungen.

Bei der Auswahl einer zum Tiefziehen besonders geeigneten Legierung ist im allgemeinen darauf zu achten, daß diese nicht nur gut verformbar, sondern auch wegen der auftretenden Beanspruchungen gute Festigkeitseigenschaften aufweisen muß. Es ist daher erklärlich, daß die derzeitigen Entwicklungsarbeiten zur Schaffung eines Sondertiefziehbleches auf Al-Cu-Mg-Basis führen mußten.

Wenn man nun auch rein überlegungsmäßig durch Aenderung der Legierungsanteile oder durch besondere Zusätze sowie durch geeignete Herstellungsverfahren die Vorbedingungen für die Entwicklung einer Tiefziehlegierung schaffen kann, so ist doch schließlich das Verhalten im praktischen Betrieb ausschlaggebend. Eine gleichbleibende Güte des Werkstoffes, die die Voraussetzung für die praktische Verwendung ist, kann aber nur durch ein Prüfverfahren gewährleistet werden, das einerseits den Verhältnissen der Praxis

Rechnung trägt, andererseits aber möglichst einfach und rasch durchführbar ist. Bei der Ueberprüfung der Eignung eines Werkstoffes auf Tiefziehbarkeit versagen die aus dem Zugversuch allein ermittelten Kennziffern der Bruchfestigkeit, Streckgrenze und Bruchdehnung ebenso wie die chemische Analyse. Man hat sich daher bemüht, Prüfverfahren zu entwickeln, bei denen eindeutig die Unterschiede zwischen für das Tiefziehen geeigneten und nicht geeigneten Werkstoffen hervorgehoben werden.

Von diesen Verfahren ist das bisher am meisten verbreitete die *Erichsen-Probe*¹⁾ (Abb. 1). Bei ihr wird bekanntlich ein kugelförmig ausgebildeter Stempel von normalerweise 10 mm Halbmesser in das Blechstück so lange eingedrückt, bis in einem dahinterliegenden Spiegel der erste Anriß beobachtet wird. Der hierbei festgestellte Tiefungswert in Millimeter bildet die Kennziffer. Das Verfahren, das zwar den Vorteil der Einfachheit und schnellen Durchführbarkeit besitzt, gibt jedoch leider keinen sicheren Anhalt für die Eignung eines Bleches zu Tiefzieharbeiten. So ergeben z. B. grobkörnige Bleche, obwohl sie für Tiefziehzwecke ungeeignet sind, häufig gleiche Tiefziehungswerte wie feinkörnige. Da bei der Erichsen-Probe nur ein Tiefziehen an einem fest eingespannten Blech vorgenommen wird, gibt sie weder Aufschluß über die bei vielen Tiefzieharbeiten auftretenden Stauchkräfte noch über die Verformungsfähigkeit bei einem allfälligen zweiten Zug.

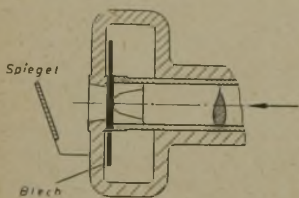


Abb. 1: Schema der Tiefungsprüfung nach Erichsen

Der Erichsen-Probe ähnliche Prüfverfahren wurden von *Olsen*²⁾ und *Guillery*³⁾ entwickelt. Die Prüfung kann beispielsweise auch mit einer in den Druckraum einer Universalprüfmaschine eingesetzten Einbeulvorrichtung vorgenommen werden, wobei das Absinken der Last den Augenblick des ersten Anrisses erkennen läßt.

Weitere Vorschläge für die Schaffung von Tiefziehprüfverfahren wurden von *E. Siebel* und *A. Pomp*⁴⁾ gemacht, die einen Tiefungszerrversuch und eine Tiefziehaufweitungsvorrichtung vorschlugen. Bei letzterer Probe wurde die Aufweitung eines gebohrten Loches bis zum Einreißen bestimmt. Diese Verfahren haben sich jedoch bisher nicht durchsetzen können.

Den Verhältnissen der Praxis kommt, zumindest für eine Anzahl praktischer Fälle, die *Näpflchenprobe*⁵⁾ sehr nahe. Dieses Verfahren, das seinerzeit von der AEG. bei Blechliefereien gefordert wurde, ahmt den Ziehvorgang bei der Herstellung eines Näpflchens aus einer Scheibe nach (Abb. 2). Die Versuche werden mit verschiedenen Scheibendurchmessern D ausgeführt, wobei als Maß für die Tiefziehfähigkeit das ohne Reißen erzielbare kleinste Durchmesser Verhältnis $m = \frac{d}{D}$ gilt. In gleicher Weise kann auch die weitere Verformungsfähigkeit bei einem zweiten Zug durch Ermittlung des Verhältnisses $m_1 = \frac{d_1}{d}$ festgestellt werden.

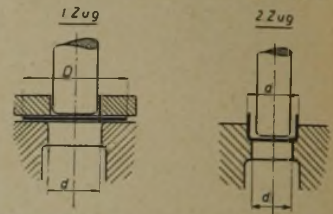
Durch Untersuchung der gezogenen Näpflchen auf

Zipfelbildung, die durch starke Abweichungen der Festigkeitseigenschaften in und quer zur Walzrichtung bedingt ist, können derart ungeeignete Bleche rechtzeitig ausgeschieden werden. Dieses Verfahren ist als Prüfverfahren bei Entwicklungsarbeiten sehr geeignet, besitzt jedoch den Nachteil, für eine laufende Abnahme zu umständlich zu sein.

Ein ebenfalls der Praxis weitgehend angepaßtes Prüfverfahren wurde von *F. Eisenkolb*⁶⁾ vorgeschlagen. Hierbei wurden in mehreren Zügen Hohlzylinder hergestellt, aus den verformten Wandungen Streifen entnommen und daran die Erichsen-Probe vorgenommen. Als Kennziffer galt das Verhältnis der Erichsen-Tiefung des verformten Werkstoffes zur Erichsen-Tiefung des nicht verformten Werkstoffes. Da aber dieses Verfahren noch umständlicher als das AEG-Prüfverfahren ist, scheidet es für die Abnahmeprüfung aus.

Haben die beiden letztgenannten Verfahren die Praxis möglichst nachzuziehen versucht, so ist dies auch beim Keilziehverfahren nach *G. Sachs*⁷⁾ der Fall, nur mit dem Unterschied, daß hier die Prüfbedingungen wesentlich vereinfacht sind.

Der Grundgedanke des Verfahrens ist folgender: Wird, wie auch bei der Näpflchenprobe, aus einer Scheibe vom Durchmesser D (Abb. 3) ein zylindrischer Hohlkörper vom Durchmesser D_1 hergestellt, so wird der schraffierte Ausschnitt des entsprechenden Kreisringes in ein Rechteck von der Länge L_1 und der Breite B_1 verwandelt. Die hierbei auftretende Verlängerung von L auf L_1 bzw. Stauchung von B auf B_1 kann beim Keilziehverfahren nachgeahmt werden, indem man eine keilförmig zugeschnittene Probe durch eine flache Düse zu einem rechteckigen Streifen zieht. Abb. 4 zeigt den Probestab sowie Versuchsergebnisse von Sachs an Reinaluminium unter Verwendung verschiedener Schmiermittel. Durch Aenderung der Keillänge l werden verschiedene Umformungsgrade $\frac{b}{a}$ durchgeprobt und in einem Schaubild die Abhängigkeit der Ziehspannung vom Umformungsgrad aufgetragen. In dem angeführten Fall zeigt sich, daß sich Reinaluminium mit Talg wesentlich besser als mit Rüböl ziehen läßt. Beim Vergleich zweier Werkstoffe gilt derjenige als besser tiefziehbar, der bei gleichem Umformungsgrad die kleinere Ziehspannung oder bei gleicher Ziehspannung den größeren Umformungsgrad aufweist. Die von Sachs vorgeschlagene Probenform gibt jedoch viel kleinere Umformungen, als sie meist in der Praxis auftreten. Es wurde daher von *H. Kayseler*⁸⁾ das Keilziehverfahren als sogenanntes Keilzug-Tiefungs-Verfahren (DRP. 611 658)



Ziehverhältnis, (Beispiel) $m = \frac{d}{D} = 0.5$

$m_1 = \frac{d_1}{d} = 0.8$

Abb. 2: Näpflchenprobe

Abb. 3: Grundgedanke des Keilziehverfahrens

⁶⁾ F. Eisenkolb, Stahl und Eisen, 52 (1932), S. 357.

⁷⁾ G. Sachs, Metallwirtschaft 9 (1930), Nr. 10, S. 213—218.

⁸⁾ H. Kayseler, Mitt. Forsch.-Inst. Ver. Stahlwerke, Dortmund, Bd. 4, Lief. 2 (1934), S. 39—82.

¹⁾ A. M. Erichsen, Stahl und Eisen, 34 (1914), S. 879/82.

²⁾ Th. J. Olsen, Proc. Amer. Soc. Test. Mat. 20 Part. II (1920) S. 398.

³⁾ M. Guillery, Rev. Métallurg., 21 (1924), S. 303.

⁴⁾ E. Siebel und A. Pomp, Mitt. Kais.-Wilh.-Inst. Eisenforschung, Düsseldorf, II (1929), S. 139—153 und S. 287—291.

Stahl und Eisen, 49 (1929), S. 1866—1868; 50 (1930), S. 1907.

⁵⁾ R. A. Fischer, AEG.-Mitt. 1929, Heft 7, S. 483 ff.

weiterentwickelt. Die hierbei verwendeten Proben sind breiter als die von Sachs und außerdem mit einer 10-mm-Strichteilung versehen (Abb. 5). Nach dem Durchziehen der Keilprobe wird nun an mehreren Stellen, die ja verschiedene Dehnung aufweisen, die Tiefungsprobe nach Erichsen durchgeführt, und zwar normalerweise mit einem Stempel von 6 mm Halbmesser, um möglichst viele Eindrücke vornehmen zu können. Um die Anzahl der Eindrücke noch weiter zu steigern, wurde von H. Stelljes und O. Weiler⁹⁾ eine sogenannte Doppelkeilprobe vorgeschlagen, bei welcher das Keilende zu einem langen Endekeil ausgebildet wurde. Als Versuchsergebnis wird die Tiefung in v. H. der am nicht verformten Blech gefundenen Tiefung in Abhängigkeit von der örtlichen Dehnung aufgetragen (Abb. 6). Die so erhaltenen „Resttiefungskurven“ gestatten die nach einem bestimmten Verformungsgrad bzw. einer bestimmten Dehnung noch vorhandene Verformungsfähigkeit des Werkstoffes zu beurteilen. Abb. 7 zeigt eine schematische Darstellung des verwendeten Keilzugerätes, das in eine Zerreißmaschine eingespannt werden kann. Als Schmiermittel hat sich Paraffin bewährt. Durch Eintauchen der Proben in geschmolzenes Paraffin kann ein gleichmäßiger Ueberzug erzielt werden.

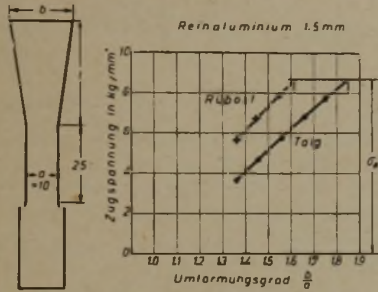


Abb. 4: Keilziehverfahren nach Sachs

Obwohl das Keilziehverfahren den praktischen Anforderungen sehr nahe kommt, besteht für Abnahmeprüfungen der Wunsch nach einem noch einfacheren und schneller auswertbaren Verfahren. In der Forschungsanstalt der Dürener Metallwerke laufen derzeit Versuche, um die Brauchbarkeit des Biege-Zug-Verfahrens nach Buschmann-Mohr¹⁰⁾ für diesen Zweck zu untersuchen. Der Biege-Zug-Versuch war ursprünglich für andere Zwecke, vor allem als Abkürzungsverfahren zur Bestimmung der Schwingungsfestigkeit, gedacht. Abb. 8 zeigt das Schema dieses Prüfverfahrens. Ein Blechstreifen wird unter gleichzeitiger Zugbelastung zwischen zwei Rol-

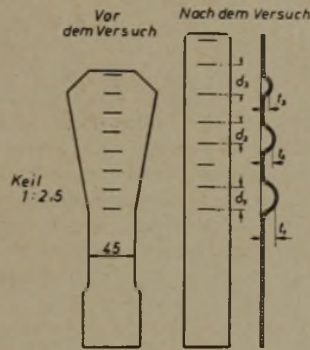


Abb. 5: Keilzug-Tiefungs-Verfahren nach DRP. 611 658

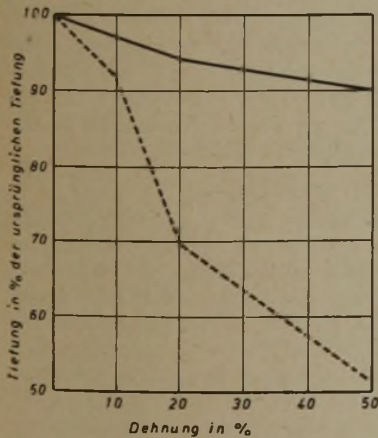


Abb. 6: Resttiefungskurven

len hin- und hergebogen. Wenn man für verschiedene Belastungen die bis zum Bruch ertragenen Biegezahlen aufträgt, erhält man das in Abb. 9 dargestellte Schaubild. Für die Abnahmeprüfung wäre es denkbar, daß man nicht die ganze Spannungs-Biegezahl-Linie aufnimmt, sondern nur bei einer bestimmten Zugspannung die Biegezahl, d. h. die Anzahl der Hin- und Herbiegungen bis zum Bruch, bestimmt. Auf diese Art könnte eine sehr rasche Abnahmeprüfung vorgenommen werden. Nach den bisherigen Versuchsergebnissen scheint die Biegezahl allein jedoch keine Kennziffer zu liefern, da sie, gleiche Zugspannung vorausgesetzt, auch von der Bruchfestigkeit bzw. Streckgrenze des Werkstoffes abhängt. Auch ist noch nicht geklärt, mit welchem Biegewinkel zweckmäßigerweise gearbeitet werden mußte.

Wenn man die Verfahren zur Prüfung der Tiefziehfähigkeit überblickt, so ist aus der Vielgestaltigkeit der Vorschläge der Wunsch nach einem einwandfrei, einfach und rasch arbeitenden Verfahren deutlich erkennbar. Bisher konnte noch keines allgemeine Anerkennung und Verwendung finden.

Nach dieser eingehenden Betrachtung der Prüfverfahren soll die dritte Problemstellung, die Ermittlung der günstigsten Ziehbedingungen,

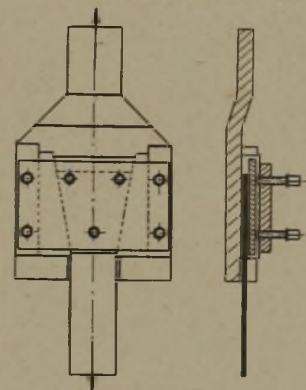


Abb. 7: Schema des Keilzugerätes nach DRP. 611 658

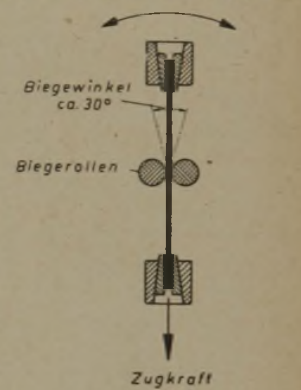


Abb. 8: Schema des Biege-Zug-Versuches nach Buschmann-Mohr

gen, besprochen werden. Hier müssen durch praktische Versuche die günstigsten Ziehgeschwindigkeiten, Ziehdrücke, Werkzeugformen und Schmiermittel festgestellt werden. Die Ziehbedingungen weichen häufig stark von denen bei Stahl oder Schwermetallen ab und üben einen bedeutenden Einfluß auf die Ziehbarkeit aus. Bei stärkeren Blechverformungen von veredelbaren Legierungen, wie sie beim Tiefziehen auftreten, kann man grundsätzlich von zwei Werkstoffzuständen ausgehen, und zwar vom weichgeglühten oder vom frisch veredelten. Abb. 10 zeigt den Einfluß vorübergehender Erwärmung auf die Festigkeitseigenschaften einer Al-Cu-Mg-Legierung, und zwar von „Duralumin 681 B“¹¹⁾. Daraus ist ersichtlich, daß bei einer Glüh Temperatur von etwa 350° C die größte Weichheit erzielbar ist. Nach einem Tiefziehen im weichgeglühten Zustand müssen die Gegenstände zur Erreichung der hohen Festigkeitseigenschaften noch veredelt werden, wobei die Gefahr des Verziehs bzw. die Notwendigkeit des Nachrichtens in Kauf genommen werden muß. Man kann sich in diesem Falle allerdings auch dadurch helfen, daß man die Teile nicht in Wasser, sondern in einem kalten Luftstrom abschreckt, wobei aber nicht ganz so hohe Festigkeitswerte erreicht werden. Im Flugzeugbau werden Tiefzieharbeiten daher meist im frisch

⁹⁾ H. Stelljes und O. Weiler, Aluminium 20 (1938), Nr. 2, S. 109—117.

¹⁰⁾ E. Buschmann, Zs. f. Metallk. 26 (1934), Nr. 12, S. 274—279.

E. Mohr, Zs. f. Metallk. 30 (1938) Nr. 1, S. 30—35; Metallwirtschaft 17 (1938) Nr. 20, S. 535—537.

¹¹⁾ Die in dieser Abhandlung genannten Werkstoffbezeichnungen „Duralumin“, „Duralplat“ und „Duralium“ sind den Dürener Metallwerken geschützte Wortmarken.

veredelten Zustand ausgeführt. Aus Abb. 10 ist ersichtlich, daß sich die Kurven bei etwa 370° C in zwei Aeste teilen. Die gestrichelten Kurven geben die sofort nach dem Abschrecken festgestellten Werte wieder, während die ausgezogenen Kurven die Festigkeitswerte nach fünfzügiger Auslagerung darstellen.

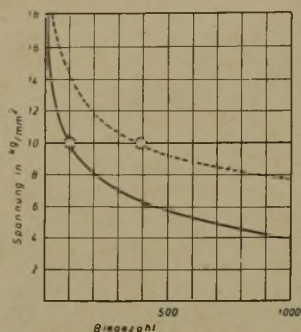


Abb. 9: Spannungs-Biegezahl-Linien

Man kann daraus ersehen, daß beispielsweise bei einer Veredelungstemperatur von 510° C die Streckgrenze im frisch veredelten Zustand zwar um etwa 3 kg/mm² höher als im weichgeglühten, aber noch um etwa 13 bis 14 kg/mm² tiefer als im ausgelagerten liegt.

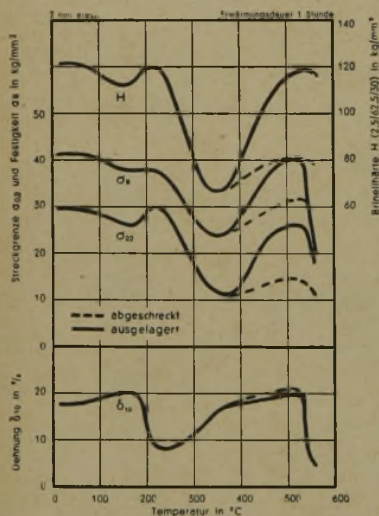


Abb. 10: Einfluß vorübergehender Erwärmung auf die Festigkeitseigenschaften von „Duraluminium 681 B“, veredelt

vorgenommen werden soll. Beim Weichglühen von Aluminiumlegierungen ist zur Erzielung eines feinen Kornes auf eine vorhergehende, genügend große Kaltverformung und ein rasches Durchlaufen der Rekristallisationsschwelle, d. i. des Temperaturbereiches zwischen etwa 230 und 300° C, zu achten. Es sind daher oft weniger Zwischenglühungen als bei Schwermetallen angezeigt. Während die Aluminiumlegierungen kalt gezogen werden, müssen die Magnesiumlegierungen bei etwa 300° C warm verformt werden.

Die Verformungsgeschwindigkeit soll der Eigenart der Legierung möglichst angepaßt werden. Während sie z. B. beim sogenannten Kaltspritzen von Reinaluminium und Aluminiumlegierungen sehr hoch ist, soll sie beim Tiefziehen der Magnesiumlegierungen 2 mm/sek nicht überschreiten. Der Einfluß der Ziehgeschwindigkeit bei Leichtmetallen ist jedoch noch nicht restlos geklärt.

Der Antrieb der Ziehpressen wird vielfach hydraulisch oder mit Preßluft gewählt. Dies hat den Vorteil, daß die Ziehgeschwindigkeit gut regelbar ist und auch ein gleichmäßiger Ziehdruck eingestellt werden kann. Die hydraulischen Pressen sind daher für die Leichtmetallverarbeitung den mechanischen Kurbelpressen vorzuziehen. Letztere kommen vor allem für kleinere Teile, die in Massenfertigung hergestellt werden, in Frage. Hierher gehören die beim Kaltspritzen verwendeten Tubenspritzpressen sowie die vollautomatischen Ziehpressen, auf denen eine ganze Anzahl von Ziehgingen hinter- bzw. nebeneinander ausgeführt werden kann.

Für kleinere Stückzahlen, wie sie im Flugzeugbau häufig vorkommen, suchte man möglichst an teuren Gesenkkosten zu sparen. Hier hat sich das Streckziehen (Abb. 11) gut bewährt. Das Verfahren besteht darin, daß das Blech über ein Formwerkzeug, welches auf einem Tisch befestigt und hydraulisch aufwärts bewegt werden kann, gestreckt wird. Die Gattung Al-Cu-Mg läßt sich wegen ihrer hohen Zugfestigkeit besonders gut auf diese Art verformen. Die Einspannung des Bleches erfolgt meist in gerillten Klemmbacken. Zur Herstellung verhältnismäßig flacher Teile werden vielfach Fallhämmer (Seilfallhämmer) oder Fallpressen benutzt. Letztere stellen eine Vereinigung von Fallhammer und hydraulischer Presse mit großem Hub dar. Sie können hintereinander als Presse bzw. Hammer verwendet werden.

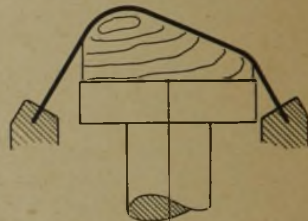


Abb. 11: Schema des Streckziehens

Als Werkstoff für die Ziehwerkzeuge wird je nach dem Arbeitsverfahren Metall (Stahl, Grauguß, Elektonguß), Holz, Kunststoff oder Gummi verwendet. Für die Streckpressen kommt vor allem Holz oder Stahl, für die Fallhämmer und Fallpressen Elektonguß in Frage. Gummiwerkzeuge werden als Obergesenk in Verbindung mit Untergesenken aus Holz, Kunststoff oder Elektonguß verwendet. Die Ziehwerkzeuge sind heute fast völlig durch Elektonguß verdrängt. Die angeführten Werkstoffe haben gegenüber dem Stahl oder Grauguß den Vorteil bedeutend verringerter Werkzeugkosten.

Bei der Leichtmetallverarbeitung ist noch auf eine besondere Oberflächengüte der Werkzeuge Wert zu legen. So ist z. B. beim Kaltspritzen eine spiegelblank polierte Werkzeugoberfläche unbedingt erforderlich.

Als Schmiermittel hat sich beispielsweise bei Metallwerkzeugen Muzine, bei Holz Vaseline oder ein Gemisch aus Vaseline und Muzine gut bewährt.

Bauchige Gefäße können aus vorgezogenen Hohlzylindern mittels Druckflüssigkeit in eine Außenform hineingepreßt werden.

Drücken:

Auf die Herstellung von Drehkörpern findet auch noch das Drücken Anwendung. Hierbei wird mittels eines entsprechend geformten Drückstahles das Blech auf einer umlaufenden Metall- oder Holzform verformt. Dieses Verfahren gestattet zwar, die Wandstärke an verschiedenen Stellen beliebig dick zu machen, stellt aber dafür große Anforderungen an die Geschicklichkeit des Arbeiters.

Falzen und Biegen:

Schließlich seien noch einige Worte über das Falzen und Biegen gesagt. Für Falzarbeiten kommen vor allem Reinaluminium, die Gattung Al-Mn, weich und halbhart, sowie die Gattung Al-Mg-Mn, weich, in Frage. Falzarbeiten an veredelbaren Legierungen müssen im weichgeglühten Zustand durchgeführt werden. Sie sind nur dann zulässig, wenn die Möglichkeit einer nachträglichen Veredelung gegeben ist. Biegarbeiten können jedoch bei veredelbaren Legierungen auch im ausgehärteten Zustand vorgenommen werden. Für das Biegen ist der zulässige Biegehalbmesser bzw. das Verhältnis des Biegehalbmessers zur Blechstärke maßgebend. Der kleinst zulässige Biegehalbmesser für Blechstärken bis 3 mm

ist bei den Gattungen Al-Mg 7 und Al-Mg 9, weich, sowie bei Fliegwerkstoff 3115.5 (z. B. „Duralumin 681 ZB^{1/3}“) und Fliegwerkstoff 3116.5 (z. B. „Duralplat“) im ausgehärteten Zustand normalerweise $r = 2d$, hingegen für die Gattungen Al-Mg 7 und Al-Mg 9, hart, sowie für Fliegwerkstoff 3125.5 (z. B. „Duralumin DM 31“), ausgehärtet, $r = 3d$. Wird die Gattung Al-Cu-Mg im weichgeglühten oder frisch veredelten Zustand verarbeitet, so kann mit dem Biegehalbmesser bis auf $r = 1,5d$ herabgegangen werden. Für die Gattung Al-Mg 5 kann im weichen Zustand $r = 1,5d$, im harten $r = 2,5d$ zugelassen werden. Reinaluminium und die Gattung Al-Mn (z. B. „Leichtmetall MN 20“) können im weichen Zustand scharfkantig gebogen werden.

Nieten:

Die guten Festigkeitseigenschaften von Aluminiumlegierungen werden meist durch einen Aushärtungsvorgang oder eine Kaltverfestigung erzielt und gehen bei Erwärmung teilweise verloren. Leichtmetallniete werden daher im kalten Zustand eingezogen und geschlagen. Bei der Berechnung muß daher berücksichtigt werden, daß die Last nur durch den Lochleibungsdruck bzw. den Scher- und Biege widerstand übertragen wird, während bei Stahl die Last infolge der Schrumpfung des warm eingezogenen Nietes vor allem durch die Reibung zwischen Nietkopf und Blech, bzw. Blech und Blech übertragen wird.

Als Nietlegierungen kommen vor allem die Gattungen Al-Cu-Mg, Al-Mg-Si, Al-Mg mit 3 bis 7 v. H. Mg und Al-Mn in Frage. Während die Gattungen Al-Mg-Si, Al-Mg und Al-Mn meist ohne vorhergehende Wärmebehandlung verarbeitet werden, sind die bisher verwendeten Niete der Gattung Al-Cu-Mg im vollausgehärteten Zustand nicht schlagbar. Sie müssen daher nach einer Warmbehandlung bei etwa 500°C und darauffolgendem Abschrecken in kaltem Wasser innerhalb kurzer Zeit verarbeitet werden.

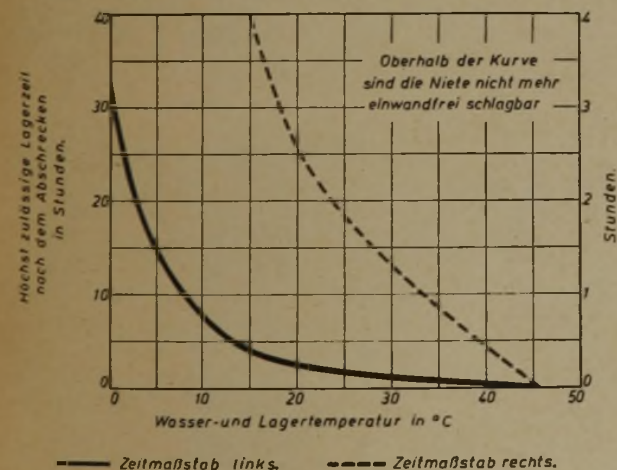


Abb. 12: Schlagzeiten für die bisher verwendeten Niete der Legierungsgattung Al-Cu-Mg

Diese Zeit ist von der Lagertemperatur abhängig und beträgt bei 20°C etwa 2½ Stunden (Abb. 12). Die Mindestscherfestigkeit des ausgelagerten Drahtes oder Nietes soll hierbei im allgemeinen 24 kg/mm² für „Duralumin 681 A“ (Fliegwerkstoff 3100) und 27 kg/mm² für „Duralumin 681 ZB^{1/3}“ (Fliegwerkstoff 3115) betragen. Es bestand nun vielfach der Wunsch nach einer Nietlegierung der Gattung Al-Cu-Mg, die sich ohne vorhergehende Wärmebehandlung schla-

gen läßt, dabei aber noch eine gute Scherfestigkeit aufweist. Zu diesem Zweck wurde von den Dürener Metallwerken „Duralumin 681 H“ als Nietlegierung mit diesen Eigenschaften entwickelt¹²⁾. Die Niete dieser Legierung können in voll ausgehärtetem Zustand ohne nochmalige vorhergehende Wärmebehandlung verarbeitet werden. Auf Grund eingehender, noch nicht veröffentlichter Untersuchungen wurde festgestellt, daß die Scherfestigkeit ungeschlagen zwischen 22 und 24 kg/mm², geschlagen und auf den Istdurchmesser bezogen zwischen 24 und 25 kg/mm², auf den Nenndurchmesser bezogen sogar zwischen 24,5 und 26 kg/mm² liegt. Neben der Einsparung einer zeitlich festliegenden und häufig mehrmaligen Wärmebehandlung besitzt dieser Nietwerkstoff daher noch den besonderen Vorteil, daß seine Scherfestigkeit im geschlagenen Niet höher als im ungeschlagenen Zustand liegt. Durch das Schlagen der noch nicht voll ausgehärteten Niete aus Fliegwerkstoff 3100 und 3115 wird — was allerdings nicht allgemein bekannt ist —, infolge Störung der Aushärtungsvorgänge die Scherfestigkeit des Werkstoffes um 1,5 bis 2 kg/mm² vermindert. Beim Schlagen von Nieten aus „Duralumin 681 H“ wird dagegen, da eine Störung der Aushärtungsvorgänge naturgemäß nicht eintreten kann, die Scherfestigkeit infolge der Kaltverfestigung um etwa 2 kg/mm² erhöht. Die geschlagenen Niete dieser Legierung weisen daher normalerweise eine Mindestscherfestigkeit von 24 kg/mm² auf. Hierbei sei noch besonders hervorgehoben, daß es im fertigen Bauteil ja nicht auf die Scherfestigkeit des ungeschlagenen, sondern vielmehr auf die des geschlagenen Nietes ankommt.

Niete der Gattungen Al-Mg-Si (z. B. „Duralumin K“) werden normalerweise im kalt veredelten Zustand verarbeitet und weisen hierbei etwa 18 bis 20 kg/mm² Scherfestigkeit auf. Bei „Duralium MG 3“ (Gattung Al-Mg 3) kann durch einen entsprechenden Abziehgrad des Drahtes die Scherfestigkeit von 15 bis 17 auf 18 bis 19 kg/mm², bei „Duralium MG 5“ (Gattung Al-Mg 5) sogar von 18 bis 21 auf 22 bis 24 kg/mm² erhöht werden¹²⁾. Niete aus „Duralium MG 7“ (Gattung Al-Mg 7) lassen sich jedoch nur weich, und da nur mittels einer rasch arbeitenden Presse, nicht aber mit dem Preßlufthammer verarbeiten. Diese eigenartige Erscheinung wurde bisher damit erklärt, daß bei einer einmaligen Verformung keine Kalthärtung eintreten könnte. Nach eigenen, bisher noch unveröffentlichten Untersuchungen scheint aber die Verformungsgeschwindigkeit hierbei die ausschlaggebende Rolle zu spielen. „Duralium MG 7“, weich, weist Scherfestigkeiten von etwa 22 kg/mm² auf und bietet somit gegenüber „Duralium MG 5“, hart, keine Vorteile. Niete aus „Leichtmetall MN 20“ (Gattung Al-Mn) werden zweckmäßig im halbharten oder harten Zustand verarbeitet¹²⁾, und weisen hierbei Scherfestigkeiten von etwa 12 kg/mm² auf.

Es könnte nun die Frage auftauchen, warum man beispielsweise nicht Niete aus „Duralium MG 5“, hart, zur Verbindung von Blechen aus „Duralumin“ oder „Duralplat“ verwendet.

Für die richtige Werkstoffauswahl ist aber außer den Festigkeitseigenschaften auch die Korrosionsbeständigkeit der Nietverbindung und hierfür bis zu einem gewissen Grade das elektrolytische Spannungsgefälle zwischen Niet- und Blechwerkstoff maßgebend. Aus Abb. 13 ist ersichtlich, daß sich die Gattung Al-Mg gegenüber den Gattungen Al-Cu-Mg oder Al-Mg-Si elektronegativer verhält. Niete aus „Duralium“ würden daher bei Anwesenheit von

¹²⁾ M. Hansen und E. v. Rajakovics, Metallwirtschaft 17 (1938) Nr. 7, S. 187—189.

Feuchtigkeit einer Kontaktkorrosion ausgesetzt sein und angegriffen werden. Abb. 14 zeigt Nieten aus „Duralumin 681 ZB^{1/3}“, veredelt, und aus „Duralumin

-	Al - Mg 9
	Al - Mg 7
	Al - Mg 5
	Al - Mg 3
	Al - Mg - Mn
	Al - Mg - Si
	Reinaluminium
	Al - Mn
	Al - Si
	Al - Cu
	Al - Cu - Ni
+	Al - Cu - Mg

Abb. 13: Elektrolytische Spannungsreihe der Aluminium-Knetlegierungen

MG 5“, hart, die in „Duralplatblech“ (Gattung Al-Cu-Mg mit Al-Mg-Si-Plattierung) eingeknetet und 35 Tage dem Korrosionsversuch im Rührgerät (DVL-Schnellprüfverfahren) ausgesetzt waren. Der Korrosionsangriff auf die Nieten aus „Duralumin MG 5“ ist deutlich erkennbar, während die Nieten aus „Duralumin 681 ZB^{1/3}“ durch die Fernschutzwirkung der Al-Mg-Si-Plattierschicht nicht angegriffen wurden. Die Nieten aus „Duralumin 681 H“ verhalten sich gegenüber Blech aus „Duralplat“ ebensogut wie Nieten aus „Duralumin 681 ZB^{1/3}“.

Für die Vernietung von Teilen aus Magnesiumlegierungen verwendet man Nieten der Gattung Al-Mg 5. Schließlich sei noch daran erinnert, daß die Nieten der Gattung Al-Cu-Mg aus kaltgezogenem Draht eines bestimmten Abziehgrades hergestellt werden sollen, da bei der Herstellung aus weichem

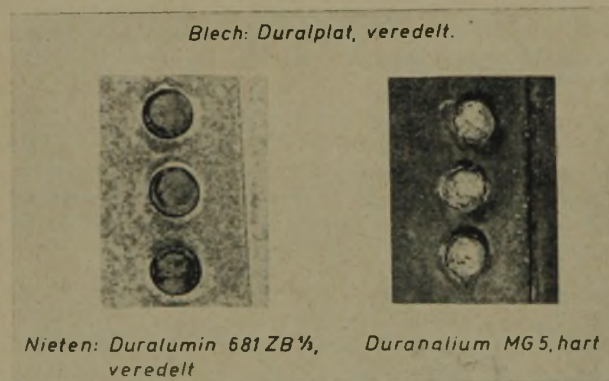


Abb. 14: Korrosionsversuch an Nietverbindungen (DVL-Schnellprüfverfahren)

oder nicht genügend abgezogenem Draht infolge von Rekristallisationserscheinungen bei der Veredelung der Nieten die Gefahr der Grobkornbildung auftreten könnte. (Abb. 15)¹³⁾.

Es soll auch nicht unerwähnt bleiben, daß derzeit Bestrebungen im Gange sind, die Schlagzeiten für Nieten der Legierungsgattung Al-Cu-Mg durch Aenderung der Zusammensetzung auch bei Raumtemperatur zu verlängern. Bisher hat man sich dadurch geholfen, daß man die Nieten bei tiefen Temperaturen lagerte (vgl. Abb. 12). Die Verlängerung der Schlagzeiten durch Legierungsänderung geht allerdings meistens auf Kosten der Scherfestigkeit.

Für Leichtmetallnieten werden im allgemeinen die

¹³⁾ W. Stenzel, Metallwirtschaft 17 (1938), Nr. 7, S. 184/5.



Abb. 15: Al-Cu-Mg-Niete gleicher Abmessungen, in derselben Matrice angefertigt

gleichen genormten Kopfformen wie im Stahlbau verwendet.

Die Schließköpfe werden im Flugzeugbau allerdings meistens in eine zylindrische Form gebracht. Eine Sonderausführung ist das Sprengniet nach DRP. 655 669 (Abb. 16). Bei diesem Niet wird der Schließkopf durch Sprengung gebildet, wobei die Sprengladung sich in einer offenen Bohrung des Nietes befindet. Die Entzündung erfolgt durch elektrisches Anwärmen mittels Sonderwerkzeugen von der Setzkopfseite her, so daß solche Nieten vor allem an einseitig zugänglichen Stellen verwendet werden können. Da das Sprengen nur im voll ausgehärteten Zustand in Frage kommt, ist für diese Nietform „Duralumin 681 H“ als Werkstoff sehr geeignet. Der Vorteil dieser Nieten für rasch durchzuführende Ausbesserungsarbeiten liegt auf der Hand.

Ueber die Durchführung der Nietung von Leichtmetallen sei erwähnt, daß man, um bei längeren Nähten Blechverfaltungen zu vermeiden, zweckmäßig die Teile durch Heftschrauben verbindet und beispielsweise in einer der Abb. 17 entsprechenden Reihenfolge nietet. Die Löcher müssen gebohrt, bei wichtigen Verbindungen

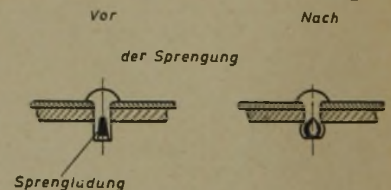


Abb. 16: Sprengniet nach DRP. 655 669

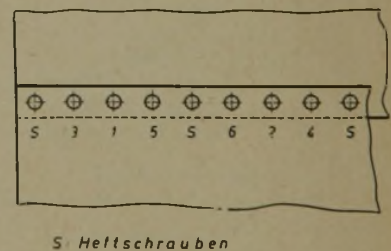


Abb. 17: Reihenfolge beim Nieten längerer Nähte

auch nachgerieben und der Blechrand abgesenkt werden. Keinesfalls sollen die Löcher durch Stanzen hergestellt werden. Die vorstehenden Ausführungen können beim Umfang des behandelten Gebietes natürlich keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben, sondern sollten vor allem einige Problemstellungen und neuere Erkenntnisse auf dem Gebiete des Tiefziehens und Nietens, von der Seite des Werkstoffmannes aus gesehen, behandeln.

Die Verarbeitung von Leichtmetallen durch spangebende Formung*)

Von Dipl.-Ing. H. H. Klein, Werkzeugmaschinenfabrik R. Stock & Co. AG., Berlin-Marienfelde

Je größer die Verbreitung und Anwendung der Leichtmetalle wird, um so weitere Kreise müssen sich mit ihren Besonderheiten vertraut machen. Im allgemeinen sind Leichtmetalle leichter zu schneiden als Schwermetalle. Trotzdem treten bei der spangebenden Formung oft Schwierigkeiten auf, weil mit unzuverlässigen Werkzeugen oder unter ungünstigen Bedingungen gearbeitet wird. Ursache hierfür ist das Bestreben, mit den für Stahl- oder Gußeisenbearbeitung üblichen Arbeitsmitteln auszukommen. Das ist aber nicht ohne weiteres möglich, da die meisten Leichtmetalle andere Verarbeitungseigenschaften aufweisen. Man kann vier Gruppen unterscheiden:

1. Reinaluminium und weiche Aluminiumlegierungen (Brinellhärte bis 60, Festigkeit bis 25 kg/mm²);
2. Harte oder ausgehärtete Aluminiumlegierungen (Brinellhärte bis 140, Festigkeit bis 50 kg/mm²);
3. Magnesiumlegierungen;
4. Aluminiumsonderlegierungen (sogenannte „Bohr- und Drehlegierungen“ oder „Automatenlegierungen“ mit kurzbrüchigen Spänen¹⁾). Die erforderliche Lockerung des Gefüges der Legierung wird erreicht durch Beimischung von Blei, Wismut und ähnlichen Zusätzen, die eine begrenzte Löslichkeit haben.

Unterschiede sind deutlich an der Form der Späne zu erkennen, wie sie beispielsweise beim Bohren (Abb. 1) und beim Fräsen (Abb. 2) entstehen. Ihnen muß bei jeder Werkzeugart Rechnung getragen werden

1. durch richtige Wahl der Schnittwinkel,
2. durch geeignete Ausbildung der Spanflächen und Spanräume,
3. durch Benutzung zweckmäßiger Schneidstoffe (Hochleistungsschnellstähle, Hartmetalle, Diamant),
4. durch Verwendung günstiger Arbeitsgeschwindigkeiten und Schmiermittel.

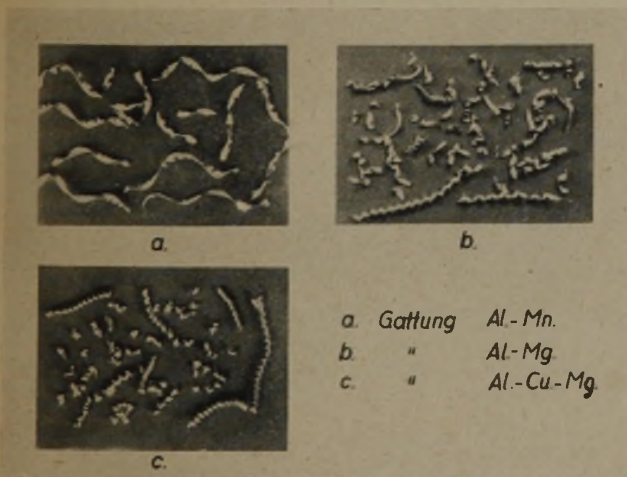


Abb. 1: Spanformen beim Bohren verschiedener Aluminiumlegierungen

A. Drehen.

Drehstahlformen zeigt Abb. 3. Der Freiwinkel (Anstellwinkel) ändert sich bei den verschiedenen Leichtmetallgattungen verhältnismäßig wenig. Er liegt

bei Schnellstahlschneiden zwischen 6 und 12°, bei Hartmetallschneiden zwischen 4 und 8°. Dagegen müssen Keilwinkel (Meißelwinkel) oder Spanwinkel (Brustwinkel) den obengenannten Werkstoffgruppen weitestgehend angepaßt werden, damit eine günstige Standzeit erreicht wird. Hierbei sei darauf



Abb. 2: Spanformen beim Fräsen von Aluminium-Automatenlegierungen

hingewiesen, daß bei Leichtmetallen nicht die bei Stahlbearbeitung auftretende plötzliche Abstumpfung die Standzeit begrenzt, vielmehr nutzt sich der Drehmeißel langsam an der Span- und Freifläche ab, wobei sich gleichzeitig die Oberflächengüte des Drehteiles verschlechtert und seine Maßhaltigkeit verlorengeht.

Geeignete Richtwerte für die Schnittwinkel

Gruppe	Aluminiumlegierungen	Keilwinkel	Spanwinkel
Gruppe I	Aluminiumlegierungen bis 60 Brinell	35—45°	35—45°
Gruppe II	Aluminiumlegierungen bis 140 Brinell	45—55°	20—35°
Gruppe III	Magnesiumlegierungen	60—70°	10—20°
Gruppe IV	Aluminium-Automaten-Legierungen	70—84°	0—10°

Der Einstellwinkel liegt je nach Arbeitsgang zwischen 45 und 75°.

Siliziumreiche Aluminiumlegierungen üben auf die Schneiden eine starke Verschleißwirkung aus. Sie werden daher zweckmäßig trotz geringerer Brinellhärte in Gruppe II eingegliedert. Auch bei Hartmetallschneiden empfiehlt es sich, den Keilwinkel etwa 10 bis 15° größer zu wählen als angegeben, damit auch bei stoßartigen Beanspruchungen Ausbröckeln vermieden wird. Im übrigen muß bei der Formgebung der Drehstähle darauf geachtet werden, daß die Späne in eine bestimmte Richtung abgeleitet oder, wenn möglich, gebrochen werden. Sonst kommt es leicht vor, daß sie sich um Handräder und Griffe der Schloßplatte wickeln und den Arbeiter gefährden. Diese Gefahr wird beispielsweise durch seitliche Neigung der Spanflächen (Abb. 3 oben Mitte), Hochziehen des Auslaufes und zuweilen auch durch Anbringen besonderer Spanbrecher vermieden. Das Aufsetzen des Werkstoffes auf die Schneide wird durch sauberen Schliff oder Abziehen der Spanfläche unterbunden. Für siliziumreiche Legierungen ist es zuweilen vorteilhaft, eine schmale Schneidfase anzubringen, deren Neigung etwa der Hälfte des Spanwinkels entspricht.

*) Werkphotos: Stock & Co.

¹⁾ Vgl. Aluminium-Zeitschrift März 1937

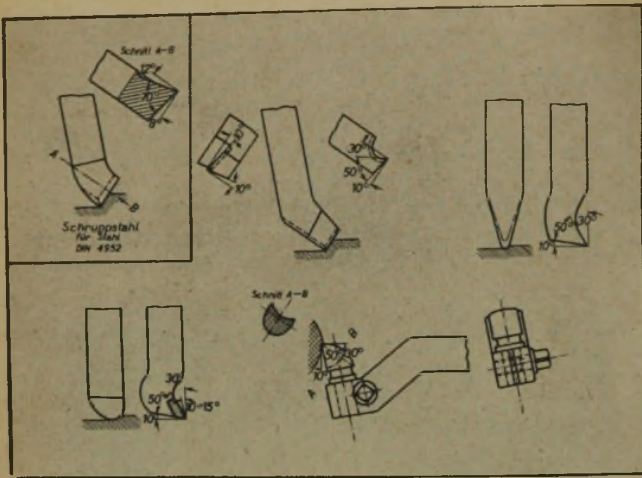


Abb. 3: Drehstähle für Leichtmetalle

gültig, ob schwache, dünnwandige Stücke zu drehen sind, die sich leicht bei der Bearbeitung verformen, oder ob es sich um kurz eingespannte Stangen handelt. Dementsprechend liegen die allgemein angegebenen Richtwerte weit auseinander.

Richtwerte für Arbeitsgeschwindigkeiten beim Drehen

	Schnittgeschwindigkeit v, m/min für	
	Schnellstahl	Harthmetall
weiche Al-Legierungen	300 bis 500	bis 2000
ausgehärtete Al-Legierungen	100 bis 200	bis 400
siliziumreiche Al-Legierungen	80 bis 150	bis 250
Magnesiumlegierungen	bis 1000	bis 2000

	Vorschübe in mm/Umdr.	
	Schnellstahl	Harthmetall
Schruppen	bis 2	bis 1
Schlichten	bis 0,4	bis 0,2

Wenn es auf die Sauberkeit der Drehfläche ankommt, muß mit einem geeigneten Schmiermittel (Schneidöl, Seifenwasser, seltener Petroleum) gearbeitet werden.

Es sind Bestrebungen im Gange, an Stelle dieser allgemeinen Richtwerte genauere, dem einzelnen Arbeitsfall angepaßte Zahlen zu schaffen. Die demnächst erscheinende Refa-Schrift „Drehen“ wird beispielsweise auch die Bearbeitung von Leichtmetallen berücksichtigen. Auch der AWF. arbeitet zur Zeit Tafeln für Drehen von Leichtmetallen aus.

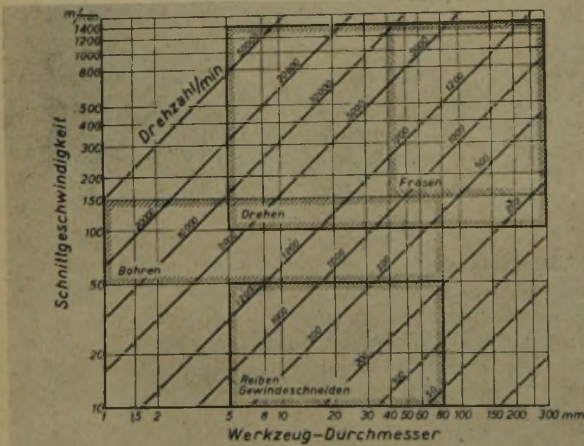


Abb. 4: Schnittgeschwindigkeiten und Drehzahlen

Nicht nur die Form, sondern auch der Schneidstoff des Drehstahles wirkt sich entscheidend auf die Wirtschaftlichkeit des Arbeitsverfahrens und die Güte des fertigen Drehstückes aus. Für Dauerleistungen sind Hochleistungsschnellstähle und Hartmetalle zweckmäßig. Letztere haben gegenüber den Schnellstählen im Durchschnitt eine mindestens vier- bis fünffache Verschleißfestigkeit. Für Feinstbearbeitung, z. B. zum Schlichten der hochsiliziumhaltigen Kolbenlegierungen, verwendet man auch den Diamant als Schneidwerkzeug. Bei diesem muß man den Winkel der Nebenschneide möglichst klein (etwa 1 bis 2°) halten, um eine vollkommen glatte Oberfläche zu erreichen.

Die Wahl der Arbeitsgeschwindigkeiten und Schmiermittel ist von verschiedenen Einflüssen abhängig. Neben den schon erwähnten Werkstoffeigenschaften des Werkstückes und Werkzeuges seien hier die Form des Werkstückes sowie die zur Verfügung stehenden Spindeldrehzahlen und Vorschübe erwähnt. Es ist beispielsweise nicht gleich-



Abb. 5: Spanbildung beim Bohren von Aluminium

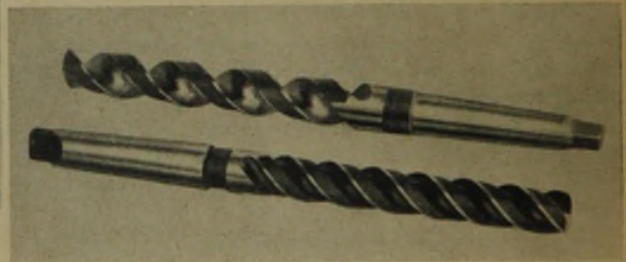


Abb. 6: Alcu-Spiralbohrer und -Senker

Bei den angegebenen Richtwerten ist vorausgesetzt, daß hohe Spindeldrehzahlen zur Verfügung stehen (Abb. 4). Trifft dies nicht zu, so muß man oft unterhalb der wirtschaftlichen Schnittgeschwindigkeit bleiben.

B. Bohren, Senken und Reiben

Sind Löcher geringer Tiefe zu bohren, so können die für Stahlbearbeitung üblichen Spiralbohrer verwendet werden. Bei größeren Lochtiefen jedoch setzen sich die stark gestauchten Späne (Abb. 5) in den Nuten fest.

Man verwendet dann Sonderbohrer, und zwar

- a) Alcu-Bohrer (Abb. 6) mit kurzem Drall (Drallwinkel 30 bis 45°), flacher Spitze (130 bis 140° Spitzwinkel) und weiten Nuten für weiche Aluminiumlegierungen und Bohrtiefen über 2×D (Bohrerdurch-



Abb. 7: Spiralbohrer für Magnesiumlegierungen

messer), für harte Aluminiumlegierungen und Bohrtiefen über $4 \times D$;

b) Spiralbohrer (Abb. 7) mit langem Drall (Drallwinkel 8 bis 15°), kleinem Spitzenwinkel (100 bis 110°) und weiten Nuten, für Magnesiumlegierungen und Bohrtiefen bis zu $4 \times D$ sowie für Bohr- und Drehlegierungen.

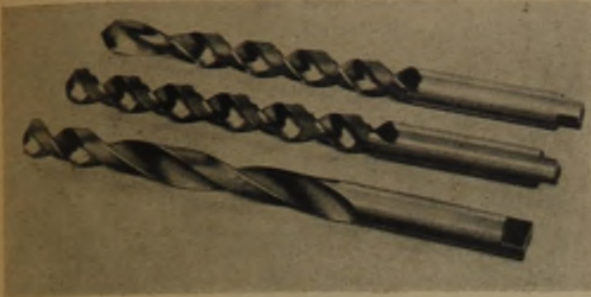


Abb. 8: Alcu-Sonderbohrer

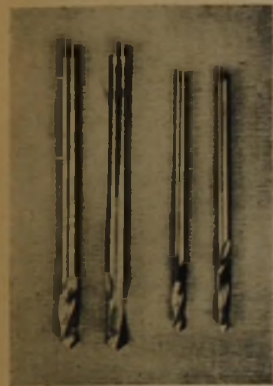


Abb. 9: Al-Blechbohrer

Für bestimmte Sonderfälle wurden die in Abb. 8 und 9 gezeigten Bohrerformen entwickelt. In Abb. 8 ist besonders der Magnesiumsonderbohrer für Bohrtiefen über $4 \times D$ bemerkenswert. Abb. 9 zeigt Bohrer für Leichtmetallbleche. Hierfür sind die anderen gezeigten Formen nicht verwendbar, da der kurze Drall das Blech beim Durchbruch hochreißen kann. Um auch mit Handbohrmaschinen ohne Bohrerbruch arbeiten zu können, wird meist die Schneidlänge zugunsten der Schaftlänge verkürzt.

Zum Aufsensen vorgearbeiteter Löcher verwendet man Spiralsenker mit besonders weiten Nuten. Bei Formsenkern ist es oft nicht leicht, die für Leichtmetall günstigen Schnittwinkel zu erreichen. Man nimmt dann lieber Formbohrer, z. B. Stufenbohrer anstatt Stufensenker.

Beim Reiben muß vor allem vermieden werden, daß sich die Späne in den Nuten oder an den Schneiden der

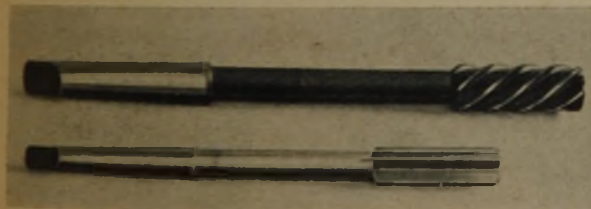


Abb. 10: Alcu-Reibahle

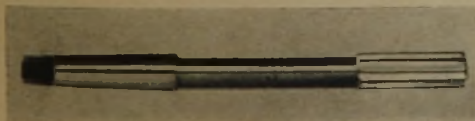


Abb. 11: Reibahle mit Schälanschnitt

Reibahle ansetzen. Sonst wird die geriebene Bohrung unsauber. Diesen Ansprüchen genügen am besten Schälreibahlen, und zwar spiralgenutete Reibahlen (Abb. 10) oder geradegenutete Reibahlen mit weiten

Spannten und Schälanschnitt (Abb. 11). Bei letzteren kann man durch zusätzliches Verchromen der Spannten das Ansetzen des Werkstoffes sicher verhindern. Hinsichtlich der im folgenden angegebenen Arbeitsgeschwindigkeiten gilt das beim Drehen Gesagte.

Richtwerte für Bohren und Senken

	Schnittgeschwindigkeit v. m/min für	
	Schnellstahl	Hartmetall
weiche Al-Legierungen	bis 120	—
ausgehärtete Al-Legierungen	bis 160	bis 300
siliziumreiche Al-Legierungen	bis 100	bis 150
Magnesiumlegierungen	bis 200	—

Die Hartmetallwerte betreffen hauptsächlich Formsenker.

	Vorschub in mm/Umdr. für Bohrerdurchmesser		
	5 mm	10 mm	20 mm
weiche Al-Legierungen	0,1 — 0,15	0,15 — 0,2	0,2 — 0,3
ausgehärtete Al-Legierungen	0,15 — 0,2	0,2 — 0,25	0,3 — 0,4
siliziumreiche Al-Legierungen	0,1 — 0,15	0,15 — 0,2	0,2 — 0,3
Magnesiumlegierungen	0,2	0,25 — 0,3	0,4 — 0,5

Für Hartmetall gelten etwa die halben Vorschübe. Als Schmiermittel wird Bohröl, Seifenwasser oder ein entsprechendes Kühlöl verwendet. Magnesiumlegierungen werden meist trocken unter Beachtung der vorgeschriebenen Schutzmaßnahmen verarbeitet.

Richtwerte für Reiben

	Schnittgeschwindigkeit v. m/min für	
	Schnellstahl	Hartmetall
je nach Legierung	10 bis 25	15 bis 30

Vorschub in mm/Umdr. je nach gewählter Oberflächengüte, jedoch meist größer als beim Bohren. Schmiermittel: Seifenwasser oder Sonderschneidöle, seltener Seifenspiritrus.

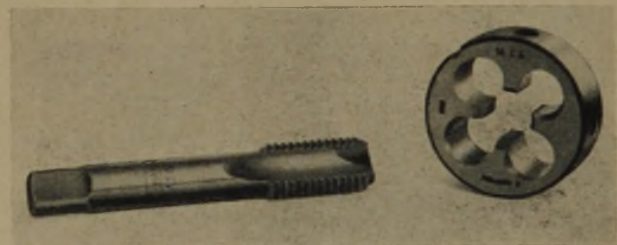


Abb. 12: Gewindebohrer und Schneideisen mit Schälanschnitt

C. Gewindeschneiden

Gewindebohrer für Leichtmetalle (Abb. 12) müssen mit Schälanschnitt versehen werden. Außerdem ist es wichtig, die Anschnitlänge der Gewindetiefe gut anzupassen. Bei Durchgangslöchern kommt man mit Einzelschneidern aus. Sacklöcher, die bis auf den Grund ausgeschnitten werden sollen, erfordern Gewindebohrersätze zu zwei Stück und Spiralnuten.

Schneideisen werden gleichfalls mit Schälanschnitt verwendet, der das Festsetzen der Späne in den Spanlöchern verhindert. Die Arbeitsgeschwindigkeit wird auch durch Steigung und Gewindelänge beeinflusst.

	Schnittgeschwindigkeit v. m/min	
	kurze Gewindelängen	normale Gewindelängen
je nach Legierung	20 bis 40	15 bis 25

D. Fräsen

Auch beim Fräsen setzen sich die Spanräume leicht zu, wenn die üblichen Werkzeugausführungen verwendet werden (Abb. 13). Günstige Spanwinkel —

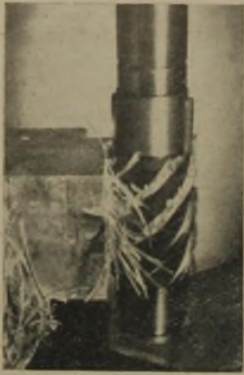


Abb. 13: Spanbildung beim Fräsen von Aluminium

je nach Gattung — lassen sich bei der in Abb. 14 gezeigten Fräseausführung mühelos erreichen. Die Frässpäne gleiten über verhältnismäßig kurze Spanflächen und treten dann frei in den Raum. Diese besondere Zahnform macht es auch möglich, geradegenutete Nutenfräser (Abb. 15) für Leichtmetalle zu verwenden. Für schwere Schnitte kommen kreuzverzahnte Scheibenfräser in Frage.

Auch zum Sägen sollte man nicht normale Kreissägen verwenden, sondern Alcu-Kreissägen (Abb. 16). Mit diesen sind bei gleichem Leistungsbedarf wesentlich höhere Vorschubgeschwindigkeiten zu erreichen. Um Flatern oder Verlaufen der Sägen zu vermeiden, darf das Verhältnis von Breite zu Durchmesser nicht zu klein gewählt werden. Auch muß man beachten, daß zum Trennen von Profilen und Blechen und zum Schlitzn Kreis-sägen mit engerer Teilung erforderlich werden.

Für die Bearbeitung großer Flächen sind Messerköpfe (Abb. 17 u. 18) wirtschaftlich. Sie werden für Leichtmetall mit kleiner Messerzahl und großen Spankammern ausgebildet. Auf



Abb. 14: Alcu-Walzenfräser und Walzenstirnfräser

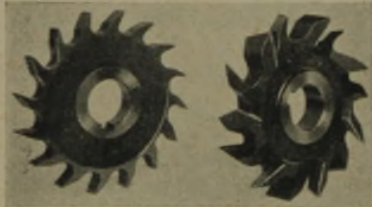


Abb. 15: Alcu-Nuten- und Scheibenfräser

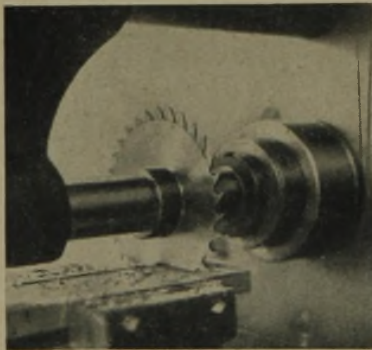


Abb. 16: Alcu-Kreissäge

stark schmirgelnden Leichtmetallen sollte man stets Hartmetallschneiden verwenden. Geeignete Arbeitsgeschwindigkeiten für das Fräsen und Sägen von Leichtmetallen sind in der Refa-Schrift „Fräsen“ enthalten, die Anfang nächsten Jahres erscheint. Hier seien nur einige Grenzwerte genannt:

	Schnittgeschwindigkeit v. m/min für	
	Schnellstahl	Hartmetall
Fräsen	bis 350	400—2000
Sägen	bis 600	—

	Vorschübe in mm/Umdr. für	
	kräftige Fräser	schwache Fräser und Sägen
große Schnittiefen	0,2—0,5	0,05—0,2
mittlere Schnittiefen	0,4—1,0	0,1—0,4
kleine Schnittiefen	0,7—1,5	0,2—0,7

Schmiermittel (soweit erforderlich): Seifenwasser oder Kühllöl, seltener Petroleum.

Als besonderer Fräsvorgang soll das Oberfräsen erwähnt werden, das beispielsweise bei Aluminiumgußbearbeitung jetzt viel angewandt wird.

An Stelle der Senkrecht-Fräsmaschinen arbeitet man bei Profilarbeiten auf den aus der Gußbearbeitung bekannten Oberfräsen. Mit Hartmetallschneiden können Drehzahlen von 12 000 bis 24 000 Umdr./min ausgenutzt werden.

E. Schleifen

Leichtmetall gehört zu den Werkstoffen, die beim Schleifen sogenannte Brockenspäne ergeben. Die für Stahl üblichen Korundscheiben sind ungeeignet. Dagegen haben sich Silizium-Karbid-Scheiben mit Kunstharzbindung gut bewährt. Bei der Auswahl der Scheiben muß man die Unterschiede der Leichtmetallgattungen berücksichtigen. Reinaluminium und zähe, weiche Aluminiumlegierungen schmieren stark und sind daher schlechter zu schleifen als ausgehärtete Legierungen, beispielsweise Duraluminium. Sie erfordern auch eine feinere Körnung. Harte Scheiben setzen sich rasch zu, soweit man nicht, beispielsweise

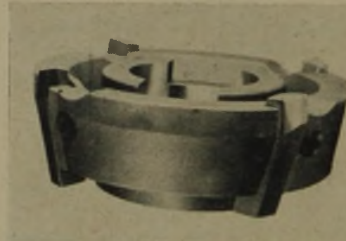


Abb. 17:

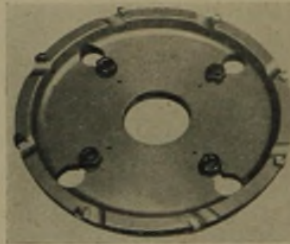


Abb. 17 und 18: Verschiedene Messerkopf-Bauarten

durch Bestreichen mit Paraffin, dem entgegenarbeitet. Bei weichen Scheiben brechen allerdings die einzelnen Schleifkörner oft aus, bevor sie stumpf sind. Der Schleifscheibenverbrauch ist infolgedessen erheblich. Unter diesen Umständen ist es schwer, allgemeine Angaben für die richtige Auswahl der Schleifscheiben zu machen, und es erscheint ratsam, die zweckentsprechende Auswahl nur nach eingehenden Schleifversuchen zu treffen. Die günstige Schnittgeschwindigkeit

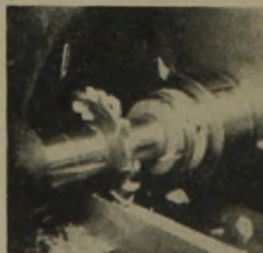


Abb. 19: Einfluß der Drehzahl auf die Spanbildung beim Nutenfräsen

keit liegt zwischen 20 und 35 m/sec. Als Kühlmittel wird Petroleum verwendet.

Der Austausch von Gußeisen, Stahl oder Messing bringt in vielen Fällen eine Verteuerung des Rohstoffes mit sich. Dieser Preisunterschied muß durch billigere, d. h. schnellere Fertigungsverfahren ausgeglichen werden. Bei Verwendung von Werkzeugen,

deren Formgebung und Schneidstoff der zu zerspannenden Leichtmetallgattung angepaßt sind, und bei Vorhandensein neuzeitlicher Werkzeugmaschinen mit ausreichenden Drehzahlen ist es dem Betriebsmann durchaus möglich, diese Aufgabe zu lösen und damit seinen Teil zur weiteren Verbreitung des Leichtbaues beizutragen.

Die Technologie des Schweißens^{*)}

Von Professor Dr.-Ing. habil. A. Matting, Technische Hochschule Hannover

Eine erfolgreiche Anwendung der Schweißtechnik setzt neben gründlichen Sachkenntnissen eine ordnungsgemäße Beschaffenheit der Schweißgeräte, einen geeigneten Zusatzstoff und einen schweißbaren Baustoff voraus. Die Abhängigkeit von der Person des Ausführenden ist unverkennbar. Schulung, Prüfung und Ueberwachung der Schweißer sowie Prüfung der Schweißverbindungen in Abhängigkeit von den zu erwartenden Betriebsbeanspruchungen stellen erst die Rechtfertigung für die zunehmende Anwendung dieses Verfahrens dar, dessen wesentlichstes Kennzeichen die Wärme ist, bei der es sich abspielt. Der Unterschied zwischen guten und schlechten Nähten tritt oft bereits äußerlich recht augenfällig in Erscheinung.

Das Schweißen ist häufig als ernster Wettbewerber der übrigen Verbindungsverfahren, hauptsächlich des Nietens, bezeichnet worden. Diese Tatsache ist nicht zu bestreiten, wenn auch hier nur für einen gesunden Wettbewerb eingetreten werden soll. Ein Grund für die beschleunigte Einführung der Schweißtechnik bestand ohne Zweifel in der Möglichkeit, im Gegensatz zum Nieten eine leichtere, vereinfachte und damit häufig verbilligte Bauweise herbeizuführen. Die Werkstoffersparnis auch gegenüber dem Gießen kann beträchtlich sein. Gewichtsverminderungen bis zu 40% und darüber lassen sich erzielen ohne Gefährdung von Festigkeit und Sicherheit. Deshalb ist auch kein Gebiet neuzeitlicher Fertigung hiervon unberührt geblieben. Im Kesselbau fällt die lärmende Kesselschmiedearbeit fort. Der Wärmeübergang läßt sich durch den Wegfall von Nieten und Ueberlappungen verbessern. Dichtigkeit und Korrosionsbeständigkeit nehmen zu, die Werkstoffauswahl vergrößert sich, sorgfältige Glühbehandlung ist möglich. Der Gestaltung kann ein weiterer Spielraum eingeräumt werden. Die gleichmäßige Formgebung führt in der Regel zu höheren Dauerfestigkeiten, so daß die Lösung vieler Ingenieuraufgaben erst durch das Schweißen möglich geworden ist. — Werden auch die dem Schweißen verwandten Fertigungsarten, das Brennschneiden, das Flammenhärten, das Metallspritzen usw. in diese Ueberlegungen einbezogen, so ergibt sich daraus der große Umfang dieses Fachgebietes und damit die Notwendigkeit, sich sowohl mit den werkstofflichen, konstruktiven und wirtschaftlichen Voraussetzungen als auch mit den praktischen und theoretischen Grundlagen eingehend zu beschäftigen.

Die Entwicklungsarbeiten wurden durch die gute Schweißbarkeit der meisten metallischen Werkstoffe erleichtert. Vor allem bereitet die schweißtechnische Verarbeitung von Stahl bis 0,15% C überhaupt keine Schwierigkeiten. Aber bis in das Gebiet der hochfesten und legierten Stahlsorten hinein ist es — allerdings mit Einschränkungen — gelungen, das Anwendungsgebiet der Schweißtechnik zu erweitern. Es kann behauptet werden, daß die Einführung neuer Werkstoffe durch gute Schweißbarkeit wesentlich erleichtert wird, diese sogar oft die Voraussetzung hier-

zu bildet. Die neuzeitliche Legierungstechnik ist bestrebt, dieses zu berücksichtigen. In vielen Fällen ist es gelungen, durch Sonderverfahren, Hilfsmittel und Zusätze eine ausreichende Schweißbarkeit der Werkstoffe zu sichern. Als Beispiel können die Leichtmetalle erwähnt werden, die zunächst als unschweißbar galten, bis es gelang, wirksame Flußmittel zu entwickeln. Der Gegensatz zwischen Gasschweißung und Lichtbogenschweißung und hier zwischen Gleichstrom- und Wechselstromschweißung oder der Nacktdrahtschweißung und der Schweißung mit umhüllten Elektroden hat die Entwicklung der Schweißtechnik nicht zu verlangsamen vermocht. Im Gegenteil hat die große Auswahl von Verfahren, die den wechselnden Bedingungen Rechnung trugen, das Interesse für sie ganz erheblich gesteigert. Heute läßt es sich leicht übersehen, welches Verfahren als zweckmäßigstes zu wählen ist, und auch die Anwendungsgebiete für die Schmelzschweißverfahren und die Prefschweißverfahren sind klar zu umreißen.

In Bild 1 werden Kehlnähte dargestellt, zu deren Herstellung verschiedene Elektrodensorten dienen. Das Bild soll veranschaulichen, daß die Wahl des Zusatzstoffes nicht beliebig ist, sondern vorzugsweise von der Zusammensetzung des Baustoffes, der Schweiß-

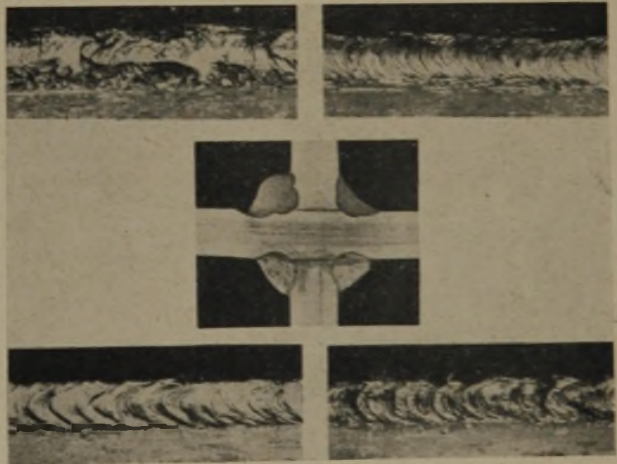


Abb. 1: Kehlnähte mit verschiedenen Elektroden

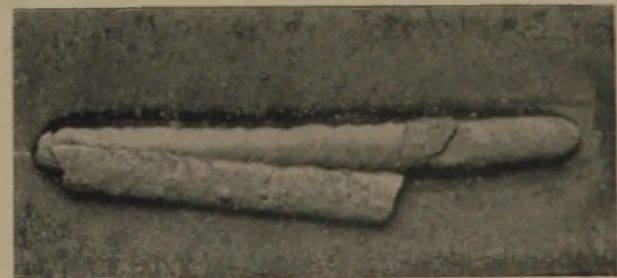


Abb. 2: Abspringen der Schlacke bei einer neuzeitlichen Mantelelektrode

^{*)} Abbildungen des Verfassers.

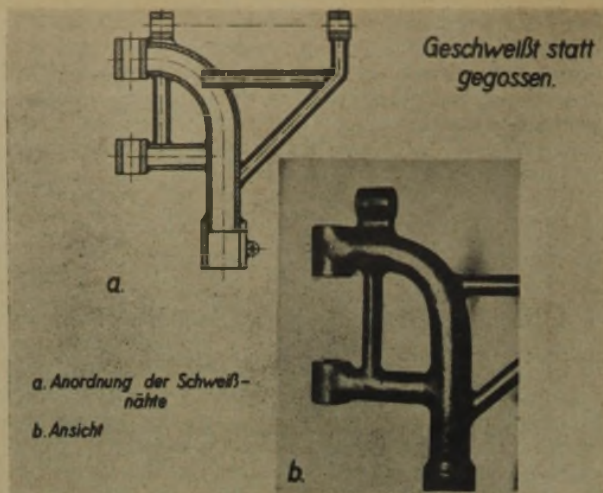


Abb. 3: OberTeil einer Säulenbohrmaschine aus Stahlrohren — autogen geschweißt

lage, der Art der Betriebsbeanspruchung u. a. abhängt. Welche großen Fortschritte bei der Entwicklung umhüllter Elektrodensorten in letzter Zeit erzielt wurden, geht aus Bild 2 hervor. Die Form der Naht ist aber auch eine Frage des Verfahrens. Bei der Herstellung von Kehlnähten ist die Lichtbogenschweißung der Gasschweißung im allgemeinen aus wirtschaftlichen Gründen überlegen. Ueberhaupt muß die Wirtschaftlichkeit auch beim Schweißen als entscheidender Faktor, der nur gegenüber der Sicherheit zurücktritt, stets Berücksichtigung finden. Die Bedeutung der Preisbildung läßt sich z. B. bei Gegenüberstellung von gleichartigen geschweißten und geschraubten Verbindungen leicht veranschaulichen. — Die Wirtschaftlichkeit des Schweißens wird ferner durch den Verbrauch von Schrotteilen gesteigert. Es gelingt schnell, aus Reststücken Formteile und Vorrichtungen zu bauen, deren gießtechnische Erzeugung erheblich mehr Zeit, zusätzliche Modellkosten und meistens mehr Material benötigen würde. Abgesehen davon ist häufig die Lebensdauer geschweißter Teile eine höhere. Ein Vergleich wird in Bild 3 gegeben.

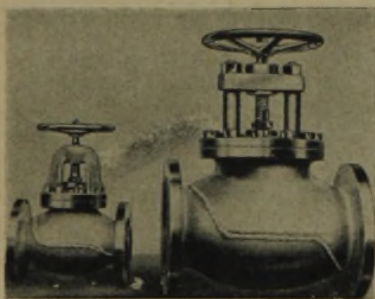


Abb. 4: Geschweißter Dampfschieber für 30 kg/cm² Druck und 350° C Temperatur

Wie weit aber auch bei der normalen Fertigung der Ersatz hochbeanspruchter gegossener Teile durch geschweißte stattgefunden hat, ist Bild 4 zu entnehmen, einem Beispiel aus dem allgemeinen Maschinenbau. Hier hat sich die höhere Lebensdauer betriebsmäßig

einwandfrei ergeben, abgesehen davon konnte eine bemerkenswerte Gewichtsersparnis erzielt werden. (Das ist immer wieder einer der wesentlichsten Gründe, warum die Schweißtechnik heute sowohl im Maschinenbau, im Brückenbau und im Stahlbau anzutreffen ist.) Bei Fundamentplatten allerdings ist die schwerere Gußausführung im allgemeinen zu bevorzugen. Bei maschinellen Einzelteilen wirken sich dagegen bereits die geringeren Fracht- und oft auch Zolkkosten der leichteren geschweißten Teile vorteilhaft aus.

Ausgezeichnete Vorschläge für geschweißte Maschinen und Maschinenteile stammen von

K. Jurczyk¹⁾. Aus der Fülle von Beispielen soll durch Bild 4, einem geschweißten Dampfschieber, weiter nachgewiesen werden, daß sich auch Armaturen auf diese Weise herstellen lassen. Der Gedanke, Armaturengehäuse aus gestanzten und gepreßten Blechteilen zusammenschweißen, ist italienischen Ursprungs²⁾. Eine erhebliche Verringerung der Wanddicke ist möglich, ohne Rücksicht auf die Forderungen der Gießerei, lediglich in Abhängigkeit von der geforderten Festigkeit. Dem Verwendungszweck entsprechend, lassen sich auch legierte Stahlsorten verarbeiten. Es ließ sich eine Gewichtsersparnis bis zu 50% erzielen.

Augenfällig wirken sich die Vorteile der Schweißtechnik im Fahrzeugbau jeder Art aus, weil hier die Gewichtsersparnis erhöhte Bedeutung besitzt. Zögernd allerdings verlief die Einführung der Schweißtechnik im Lokomotivbau. (Ähnlich liegen die Verhältnisse im Kesselbau.) Noch gültige Vorschriften haben diese Verlangsamung zum größten Teil bewirkt. Es soll nicht verkannt werden, daß diese Maßnahmen durchaus gerechtfertigt erscheinen, da hier erst nach gründlichen Versuchen und Erfahrungen schrittweise zur Anwendung eines neuen Verfahrens geraten werden konnte. Schweißarbeiten in der Rauchkammer und im Stehkessel waren die ersten, die unbedenklich zugelassen werden konnten, weil hier nur relativ geringe Beanspruchungen zu erwarten sind. Hierzu gehören ferner: Wasserkästen, Aschkästen, Gleitbahnträger, Führerhaus usw. Feuerbüchsen aus geschweißten Sonderstählen sind in großer Menge in die Stehkessel eingebaut worden. Bauarten mit geschweißten Rauchkammerträgern und durchgehend geschweißten Plattenrahmen einschließlich sämtlicher Rahmenverbindungen sind in Betrieb³⁾. Das in Bild 5 dargestellte geschweißte Rahmenverbindungsstück muß

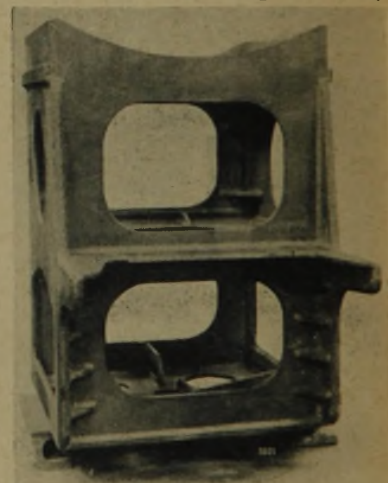


Abb. 5: Geschweißtes Rahmenverbindungsstück für Lokomotiven Type 03 (frühere Stahlgußausführung 1500 kg, geschweißte Ausführung 1200 kg)

es besonders interessant bezeichnet werden, weil es sich über sein geringeres Gewicht hinaus betrieblich wesentlich besser bewährte als die frühere Ausführung in Stahlguß. Nach Stieler⁴⁾ mußten in den Gießereien zahlreiche Abgüsse dieser Art als unbrauchbar ausgemustert werden. Oft zeigten sich Lunken und Risse erst bei der Bearbeitung, oder es traten bald nach der Inbetriebnahme empfindliche Schäden auf. Die freiere Gestaltungsmöglichkeit des Schweißers wirkt sich hier besonders günstig aus. Ganz geschweißte Lokomotiven laufen bereits in mehreren Exemplaren.

Ausgiebig wird vom Schweißen beim Bau elektrischer Lokomotiven Gebrauch gemacht, wo fast sämtliche

¹⁾ Jurczyk, Elektroschweißung, 9, 1938, H. 9, S. 161.

²⁾ Delleani, Arcos-Zeitschrift, 15, 1938, Nr. 84, S. 1798.

³⁾ Fiemming, Die Reichsbahn, 1935, Heft 4.

⁴⁾ C. Stieler, Maschinenbau / Der Betrieb, 13, 1934, H. 11/12, S. 295.

Nietverbindungen durch Schweißnähte ersetzt sind⁵⁾. Die Anwendungsmöglichkeiten im Wagenaufbau sind besonders groß. Hier hat der Leichtbau seine besondere Berechtigung, um hohe Geschwindigkeiten erzielen zu können. Jede Schwächung des Werkstoffes durch Nietlöcher fällt fort. Die glatte Oberfläche geschweißter Teile läßt eine bessere Reinigung zu und bietet dem Rost geringere Angriffsmöglichkeiten. Das Platzgewicht beträgt bei einem hölzernen D-Zug-Wagen 650 kg, bei einem genieteten Stahl-D-Zug-Wagen 590 kg, bei einem geschweißten Versuchs-D-Zug-Wagen (1931) 445 kg, bei einem geschweißten D-Zug-Wagen 1935 (verstärkt) 490 kg, bei einem Ultra-Leichtwagen 150 kg.⁶⁾ Das Untergestell eines solchen Wagens zeigt Bild 6. Eine weitere Steigerung der Gewichtsparsnis ist durch Verwendung von St 52 möglich. Selbst größte Objekte, wie Schnelltriebwagen, sind erfolgreich geschweißt worden. Ueber die besonderen Vorteile der Schweißbauweise wurde im Schrifttum häufig berichtet⁷⁾.

Während diese Schweißarbeiten vorzugsweise elektrisch vorgenommen werden, überwiegt die Anwendung der Gasflamme zur Verbindung von Leichtmetall- oder Stahlrohren bei der Herstellung z. B. von Flugzeuggerippen. Hier ist es wichtig, Ueberhitzungserscheinungen und Verziehungen zu vermeiden. Auch bedingt die hohe Dauerbeanspruchung dieser Teile eine besonders sorgfältige Ausführung.

Weiter soll ein Beispiel aus dem Schiffbau gebracht werden, Bild 7. Wieder ist es die Gewichtsparsnis, die zur Schweißtechnik geführt hat. Gerade im Kriegsschiffbau hat sie sich bewährt, weil Geschwindigkeit und Bestückung so am mühelosesten zu steigern waren. Die große Zahl senkrecht zu schweißender Nähte und die Zusammensetzung des Bau-



Abb. 6: Untergestell eines Ultra-Leichtwagens. C4V-34. Gewicht 13,4 t, für 90 Personen



Abb. 7: Gesamtansicht des geschweißten Kreuzers „Emanuele Filiberto“ der Königlich-Italienischen Marine

⁵⁾ Reiter, Elektrische Bahnen, 1936, S. 229.

⁶⁾ F. Boden, Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens, 91, 1936, H. 241.

⁷⁾ Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens, 1936, H. 12.

stoffes hat hier zu einer verbreiteten Anwendung von Seelenelektroden geführt. Allerdings läßt sich das Zusammenwirken des Schweißens mit dem Nieten hier oft nicht vermeiden.

Bei gänzlich geschweißten Schiffen der Handelsmarine konnten bis 10% des Gesamtgewichtes gespart werden⁸⁾. Verringerung der Antriebskosten und Vergrößerung des Laderaumes waren die Folge. Bei Großtankschiffen ließen sich ferner durch geschweißte Schotte die Korrosionseinflüsse vermindern, gleichzeitig ließ sich trotz leichterer Bauweise besonders gute Dichtigkeit erzielen. Auch der Walfang bedient sich heute weitgehend geschweißter Schiffe. An Einzelteilen sollen sogar bis zu 20% des Gewichtes gespart worden sein⁹⁾.

Gleiche Vorteile wie bei der Neuanfertigung ergeben sich bei der Instandsetzung durch Schweißen. Auch in dieser Beziehung ist die Schweißtechnik aus keinem Betriebe mehr fortzudenken. Das Kennzeichen aller einwandfrei ausgeführten Arbeiten ist durch den Begriff „schweißgerecht“ gegeben. Er soll andeuten, daß die neue Technik neue Formen bedingt und — neben der Beherrschung des Handwerklichen — ein tiefes Eindringen in ihre Eigenarten notwendig macht, sollen Mißerfolge nicht unausbleiblich sein.

Auch der Bauingenieur bedient sich heute in größtem Umfange der Schweißtechnik. Das Bestreben, Stahl zu sparen, wird hierdurch in beachtlichem Umfange gefördert. Neben der Neufertigung hat sich das Schweißen auch als Verstärkungsarbeit eingeführt, wie Bild 8 erkennen läßt. Hier handelte es sich um eine schweißeiserne Eisenbahnbrücke von fast 1000 m Länge aus dem Jahre 1872, die den Anforderungen des neuzeitlichen Verkehrs nicht mehr gewachsen schien. Auch machten sich unangenehme Schwankungen bemerkbar. Eine Steigerung der Belastbarkeit und eine Versteifung waren deshalb erforderlich, sollte sie im Verkehr bleiben. Trotz der werkstofflichen Unterschiede und der ursprünglichen reinen Nietbauweise konnte diese Aufgabe durch Schweißen gelöst werden. Durch Einschweißen von Stegen wurden die Flacheisen in Doppel-T-Träger verwandelt. Das Einnieten der Stege hätte erheblich mehr Werkstoff beansprucht. Im Notfall kann zwar eine geschickte Verbindung von Schweißen und Nieten zugelassen werden. Obgleich eine derartige Lösung die üblicherweise mit dem Schweißen verbundene einfache Linienführung im allgemeinen vermissen läßt, ist es in einem solchen Falle ausschlaggebend, beide Verbindungsarten zum Tragen zu veranlassen und nicht etwa durch die Schweißwärme die durch Schrumpfkräfte bedingte Kraftübertragung der Niete aufzuheben. Bei der Neuherstellung geschweißter Brücken und ähnlicher Bauten überwiegen Vollwandträger. Gewichtsparsnis zwischen 10 bis 25% lassen sich erzielen. Wird St 52 statt St 37 verwendet, kann die Gewichtsverminderung bis zu 40% betragen. Allerdings muß auf die schwierigere Verschweißbarkeit des St 52 ausdrücklich hingewiesen werden. Erschwert ist die Schweißung dieser mitunter auch mit einem Cu-Zusatz legierten Stähle wegen der durch die verschiedene Herkunft bedingten, vielfach stark abweichenden Zusammensetzung. Die Reichsbahn hat deshalb vor einiger Zeit genaue Analysenvorschriften herausgegeben.

Um Risse zu vermeiden, wie sie bedauerlicherweise auch an deutschen Brücken im letzten Jahre aufgetreten sind, faßte einer meiner Mitarbeiter¹⁰⁾ seine

⁸⁾ Aureden, Ztschr. d. VDI., 82, 1938, Nr. 35, S. 1027.

⁹⁾ Stieler, Glasers Annalen, 61, 1937, H. 11, S. 184.

¹⁰⁾ E. Bergfeld, Der Stahlbau, 9, 1936, H. 24, S. 190.

praktischen Erfahrungen bereits 1936 wie folgt zusammen:

1. Schutz gegen Wind und damit gegen vorzeitige Abkühlung und Schrumpfung.
2. Die Verwendung dicker Elektroden, um im ganzen weniger, in der Zeiteinheit aber mehr Wärme zuzuführen.
3. Hämmern im warmen Zustand der Naht unmittelbar nach der Schweißung, um der Schrumpfung entgegenzuwirken.
4. Wurzelseitiges Anwärmen der Naht, ungefähr auf 600°, um die Lamelle gleichmäßig zu erwärmen und mit der Naht schrumpfen zu lassen.
5. Schnelles Schweißen, damit die Gurtung nicht nach jeder Raupe erkaltet und von der neuen wieder erwärmt werden muß.
6. Schweißen der ganzen Naht in einem Zuge ohne Unterbrechung, um in einer Wärme arbeiten zu können.

Diese Erkenntnisse haben sich im großen und ganzen als richtig erwiesen. Bei der sogenannten Schweißnahttrissigkeit, wie sie an Bauwerken aus St 52

beobachtet wurde, haben sich aber neben den Einzelheiten der Fertigung werkstoffliche und konstruktive Ursachen gleichzeitig entscheidend ausgewirkt. Erst aus dem Zusammenwirken aller dieser Momente lassen sich diese Vorgänge verstehen und erklären. Damit ist aber gleichzeitig die Sicherheit gegeben, sie in Zukunft zu vermeiden.

Es besteht deshalb keine Veranlassung, die Herstellung geschweißter



Abb. 8: Elbebrücke bei Dönitz (Kreuzungspunkt von zwei verstärkten Diagonalen)

Brücken als Miflungen zu bezeichnen, zumal es sich bei den Mißerfolgen lediglich um Einzelfälle handelt und eine ungleich größere Anzahl von Bauwerken selbst höchsten Anforderungen anstandslos standgehalten haben. Auch in dieser Beziehung kann auf das umfangreiche Schrifttum verwiesen werden.

Zum Schluß sei noch kurz auf einige Sonderbeispiele eingegangen: Ueber den Ersatz des Kunstschmiedens durch Schweißen fanden sich kürzlich im Schrifttum interessante Hinweise¹¹⁾. So sind z. B. geschweißte Gartentore zu nennen, die durch ihre leichte Ausführung und ihre künstlerische Form auffallen. Als Ecksäulen können je zwei U-Profile dienen, die an den Hohlseiten verschweißt werden. Die Tore selbst bestanden aus Vierkantstäben. An einigen Stellen lassen sich zur Verzierung ausgestanzte Blechscheiben oder vorgebogene Haken zwischenschweißen. Weder Nacharbeiten noch Nachrichten waren erforderlich.

Ein neuartiges Anwendungsgebiet der Schweißtechnik, das auch als Leichtbauweise bezeichnet werden darf, ist die Herstellung kupferplattierter Stahlbehälter, deren schweißtechnische Herstellung zunächst erheb-

liche Schwierigkeiten bereitete. Erst mit Hilfe geeigneter Zusatzstoffe und Vorgehen nach einem erprobten Schweißplan ließen sich diese überwinden.

Auch die Leichtmetalle werden heute weitgehend schweißtechnisch verarbeitet. Hierbei handelt es sich nicht nur um die Wiederherstellung von Gußkörpern, die mit der Gasflamme und — bei geeigneter Zusammensetzung des Werkstoffes — auch elektrisch erfolgen kann. Als wesentliches Verfahren ist die Gas-Warmschweißung bereits gut durchgebildet. Auf Einzelheiten soll jedoch nicht eingegangen werden.

Bei der Neufertigung hat allerdings die gute Prefßbarkeit der Leichtmetalle die Schweißung oft unnötig gemacht, zumal das Schweißen vergüteter Leichtmetalle ohne nennenswerten Festigkeitsverlust nur bei elektrischer Punkt- und Nahtschweißung möglich ist, wenn die Stromdurchgangszeit mit nur wenigen Tausendstel Sekunden so klein bemessen wird, daß ein Ausglühen und Entfestigen nur an dem Schweißpunkt selbst eintritt, während die übrigen Teile der Bleche in ihrem Gefüge, ihrer Vergütung und ihren Festigkeitseigenschaften nicht beeinträchtigt werden. Längsträger von Eisenbahnwagen können wegen der guten Formgebungsmöglichkeiten von Leichtmetall-Prefßprofilen in einem einzigen Stück hergestellt werden, Bild 9, während solche Träger bei der Stahlausführung aus mehreren Walzprofilen zusammenschweißt werden müssen, was wegen des Festigkeitsrückganges im Schweißbereich bei vergüteten Leichtmetallen sowieso nicht anwendbar ist. Möge gerade dieses Beispiel zeigen, daß die Schweißtechnik nur dort angewendet werden darf, wo sie Vorteile bringt und verantwortet werden kann. Jedes andere Verhalten ist sinnwidrig und führt früher oder später zu Enttäuschungen.

Gerade diese Erkenntnisse haben dazu geführt, daß sich heute fast alle Hochschulen und Forschungsanstalten wissenschaftlich mit allen schweißtechnischen Problemen beschäftigen. Exakt festzustellen war der Wert dieses neuen Verbindungs- und Herstellungsverfahrens im Gegensatz und im Zusammenwirken mit älteren und neueren. Die Betriebsverhältnisse waren experimentell vorwegzunehmen, um die Eignung z. B. gegenüber Dauerbeanspruchung und Korrosionseinflüssen kennenzulernen. Auch die metallurgischen Verhältnisse, sei es beim Schweißen oder Löten, bedürfen einer genauen Klärung.

Wenn auch die Gesamtentwicklung noch keineswegs abgeschlossen ist und ständig neue Verfahren und Anwendungsgebiete erschlossen werden, so ist doch festzustellen, daß die Schweißtechnik als tragendes Glied aus unserem Wirtschaftsleben nicht mehr fortzudenken ist.

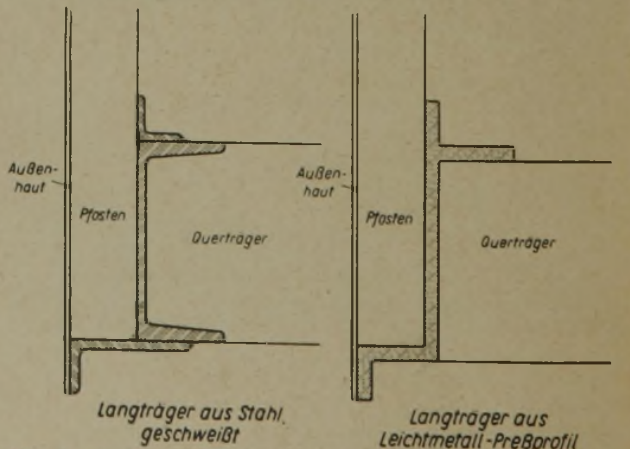


Abb 9: Vermeidung von Schweißnähten durch Ausnutzung der guten Verformbarkeit des Leichtmetalls

¹¹⁾ Arcos-Zeitschrift, 15, 1938, Nr. 84, S. 1813.

Synthetische Werkstoffe vom Gesichtspunkte des Leichtbaues^{*)}

Von Direktor Dr. Leysieffer, Dynamit-AG., Troisdorf

Wenn unter den heutigen wirtschaftlichen Verhältnissen die Förderung des Leichtbaues eine Notwendigkeit, ja eine Pflicht ist, so denkt man bei der Durchführung dieses Problems in erster Linie an die Metalle und an die Konstruktionsprinzipien, unter denen bei Anwendung von Metallen eine leichtere Bauart zu erzielen ist. Wenn infolgedessen auf der Essener Leichtbautagung die Metalle weit im Vordergrund stehen, so ist dies richtig und nicht verwunderlich. Hierbei darf aber nicht übersehen werden, daß in den letzten zehn Jahren die nichtmetallischen synthetischen Werkstoffe, die sogenannten Kunststoffe, eine auf wissenschaftlicher Forschung beruhende systematische Weiterentwicklung erfahren haben, die eine weitgehende Anwendung derselben als Baustoffe für die gesamte Technik ermöglicht. Wenn also die heute schon so hochgezüchteten mechanischen, physikalischen und chemischen Eigenschaften dieser Werkstoffe eine derartige Verwendung in der Technik zulassen, so sind sie für das Prinzip des Leichtbaues schon deshalb hervorragend geeignet, weil ihr spezifisches Gewicht durchschnittlich nur halb so hoch ist wie das von Leichtmetallen und nur etwa $\frac{1}{6}$ dessen von Schwermetallen beträgt. Wenn man die Festigkeitseigenschaften dieser Baustoffe, in erster Linie der sogenannten geschichteten Werkstoffe auf der Basis der Phenol- und Kresolharze oder der neuerdings entwickelten hochfesten Paraffinmasse überprüft, so ergeben sich im Vergleich mit Leicht- und Schwermetallen zunächst wesentlich niedrigere Zahlen für die Kunststoffe. Stellt man diesen Vergleich aber unter Berücksichtigung des spezifischen Gewichtes an, d. h. vergleicht man die beiderseitigen Festigkeitswerte nach Division durch das spezifische Gewicht, so sieht das Bild wesentlich anders aus. Es werden für bestimmte Festigkeitswerte hier nicht nur die Werte der metallischen Baustoffe erreicht, sondern es liegen bestimmte Werte sogar über diesen. Es ergibt sich so in der Tat die Möglichkeit, die synthetischen Werkstoffe nicht nur wie bisher vorwiegend für Zubehörteile und Ausstattungsgegenstände anzuwenden, sondern sie als Konstruktionsmaterial für tragende Teile zu verwenden. Hierbei kommt es entscheidend darauf an, daß der Konstrukteur die Eigenschaften und die Verwendungsmöglichkeiten beherrscht und daß er nicht in den vielfach gemachten Fehler verfällt, mit diesen neuen Werkstoffen nach den Prinzipien der bisher gebrauchten Werkstoffe zu konstruieren. Er darf die neuen Werkstoffe nicht etwa als Ersatzprodukte für die alten betrachten, sondern muß sich darüber klar sein, daß es sich um neue Werkstoffe mit neuen Konstruktions- und Anwendungsmöglichkeiten handelt, die zu ganz neuen technischen Effekten führen können.

Das Prinzip des Leichtbaues ist besonders wichtig für Verkehrsmittel, und hier stehen in vorderer Linie der Automobilbau, der Schiffsbau und der Luftfahrzeugbau.

Im Automobilbau werden bereits seit längerer Zeit eine Reihe von Zubehörteilen, wie die Armaturenbretter, Lenkräder, Einzelteile der elektrischen Zündung sowie Griffe und Beschläge aus synthetischen Werkstoffen hergestellt. Umfangreiche Versuchsarbeiten mit den neuentwickelten hochfesten Preßstoffen werden aber die Möglichkeit ergeben, die ganze Karosserie eines Automobils aus derartigen

Werkstoffen herzustellen, die die Karosserien der bisherigen Bauart mit Bezug auf Gewicht, Geräuschdämpfung und wirtschaftliche Fertigungsmöglichkeiten übertreffen. Es ist auch denkbar, daß in Zukunft der Brennstoffbehälter, Radkappen und manche andere Teile auf Kunststoffe umgestellt werden. Wenn man dann feststellt, daß bei einem Automobil die ganze Karosserie, das Lenkrad, das Armaturenbrett, der Brennstoffbehälter sowie Griffe und Beschlagteile aus organischen Preßstoffen hergestellt sein werden, daß die Polsterung aus den neuen Kunstledern auf der Basis der Polyvinylprodukte bestehen wird, daß die Bereifung aus synthetischem Gummi hergestellt wird, und daß synthetischer Brennstoff und evtl. auch synthetisches Öl zum Betriebe benutzt wird, so ist hieraus mit besonderer Deutlichkeit zu sehen, welche Umwälzungen synthetische organische Stoffe in einzelnen Industriezweigen hervorrufen können.

Auch im Schiffsbau wird dem Prinzip des Leichtbaues heute besondere Beachtung geschenkt. Wenn die Geschwindigkeit von Schiffen erhöht werden soll, so ist es notwendig, in stärkerem Maße als bisher das Schiff auf dem Wasser herauszubringen. Dies kann nur durch Verringerung des Gewichtes geschehen, wobei synthetische Werkstoffe eine wesentliche Rolle spielen können. In Amerika und England sind neuere Schiffsbauten durchgeführt worden, bei denen derartige Werkstoffe in außerordentlichem Umfange verwendet worden sind. Wenn man bei Luxus Schiffen den bisher vielfach verwendeten Marmor durch organische Stoffe ersetzt, so liegt es ohne weiteres auf der Hand, daß hierdurch eine wesentliche Gewichtsersparnis erzielt werden kann. Es kommt hier hinzu, daß die im Schiffsbau so außerordentlich wichtige Frage der Feuer-sicherheit der verwendeten Werkstoffe durch Anwendung von geeigneten Kunststoffen weitest gehend gelöst werden kann. Gleichzeitig spielt die Tatsache eine Rolle, daß derartige Werkstoffe gegenüber Schwer- und Leichtmetallen eine wesentlich größere Korrosionsfestigkeit gegenüber Seewasser und Seeluft zeigen.

Im Luftfahrzeugbau werden zur Ausstattung von Kabinen von Verkehrsflugzeugen Kunststoffe mit dem Ziele der Gewichtsersparnis bereits weitgehend verwendet. Zur Herstellung der Fensterscheiben werden an Stelle der schweren anorganischen Gläser heute Scheiben aus Cellon, Plexiglas und Astralon eingebaut. Die Fensterrahmen werden aus leichten Preßstoffen hergestellt, und auch die innere Verkleidung der Kabinen kann unter Anwendung von Astralon und ähnlichen Kunststoffen in leichterer Ausführung als bisher erfolgen. Es erscheint aber auch möglich, nicht nur Ausstattungsgegenstände aus Kunststoffen herzustellen, sondern die weitere Hochzüchtung der Festigkeitseigenschaften läßt es heute schon möglich erscheinen, Kunststoffe für die Herstellung tragender Teile zu verwenden. Die umfangreichen Arbeiten, die mit Segelflugzeugen durchgeführt worden sind, haben diese Möglichkeit bereits erwiesen.

Aus der allgemeinen Technik könnten zahlreiche Beispiele angeführt werden, die Leichtbaumöglichkeiten ergeben. Die in der chemischen Industrie neuerdings weitgehend verwendeten säure- und alkalibeständigen Mipolamrohre ergeben gegenüber Steinzeug- und Metallrohren erhebliche Ersparnisse im Aufbau dieser Leitungen, die keine schweren und komplizierten Träger und Stützen benötigen. Die bekannten Kunststofflager-scha-

^{*)} Werkphotos: Dynamit AG., Troisdorf

len, die heute besonders bei Walzwerken die bisher verwendeten Lagerschalen aus Bronze weitgehend verdrängt haben, sind ein weiteres Beispiel, wie in der allgemeinen Technik neben anderen Vorteilen eine Verringerung des Maschinengewichts herbeigeführt werden kann.

Anschließend folgen eine Reihe von Tabellen, Diagrammen und Bildern, die zur Erläuterung des bisher Ausgeführten dienen sollen:

Zahlentafel 1 zeigt im oberen Teil Druck- und Zugfestigkeitswerte sowie den E-Modul für Stahl, Leichtmetalle und Holz im Vergleich zu den sogenannten geschichteten Werkstoffen Hartpapier und Hartgewebe. Gleichzeitig sind die spezifischen Gewichte aufgeführt.

In der unteren Hälfte sind die gleichen Werte dividiert durch das spezifische Gewicht verzeichnet. Man sieht also, daß unter Berücksichtigung des spezifischen Gewichtes die Festigkeitswerte dieser beiden Kunststoffe den Werten der älteren Baustoffe teils sehr nahe kommen, teils sie sogar übertreffen.

Abb. 1, 2 und 3 zeigen vergleichende Festigkeitswerte für die normalen Holzmehl-Preßmischungen sowie von Schnitzel- und den neueren Faserstoff-Preßstoffen. Die erhebliche Überlegenheit der neu entwickelten Faserstoff-Preßstoffe geht hieraus besonders hervor.

Abb. 4 stellt die Werte der bisher vorwiegend verwendeten Holzmehl- und Schnitzel-Preßstoffe im Vergleich zu Papier- und Gewebeschichtstoffen, die ja keine Preßmassen darstellen und zu den neuesten hochfesten

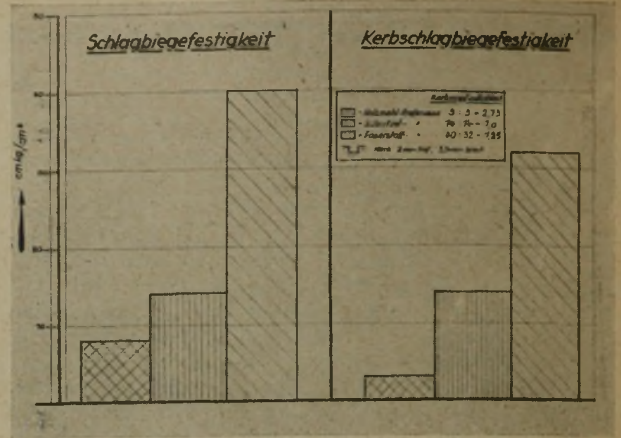


Abb. 3: Schlagbiege- und Kerbschlagbiegefestigkeit von Preßmassen

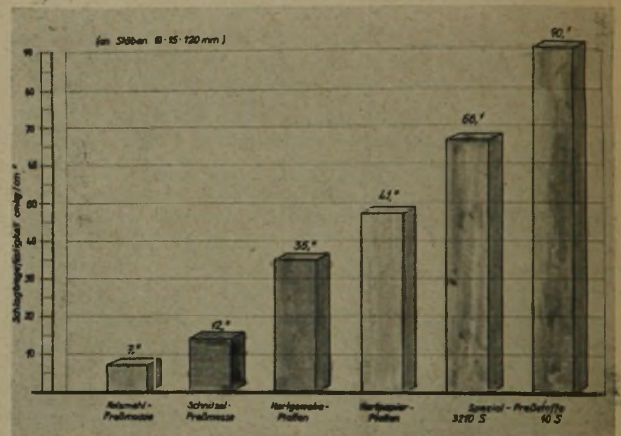


Abb. 4: Schlagbiegefestigkeit von Preßstoffen (von links nach rechts: Holzmehlpreßmasse, Schnitzelpreßmasse, Hartgewebeplatten, Hartpapierplatten, Spezialpreßstoffe 3210 S und 10 S)

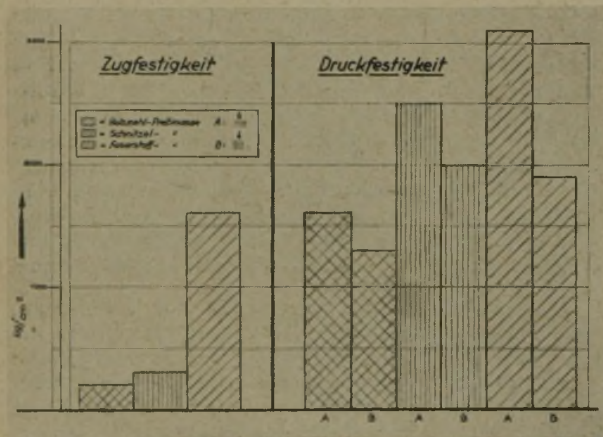


Abb. 1: Zug- und Druckfestigkeit von Preßmassen

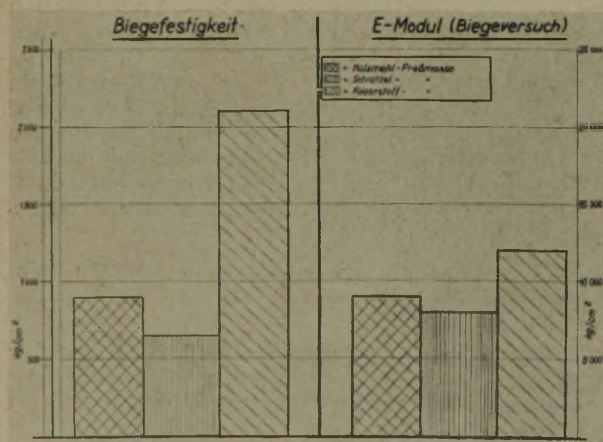


Abb. 2: Biegefestigkeit und E-Modul von Preßmassen

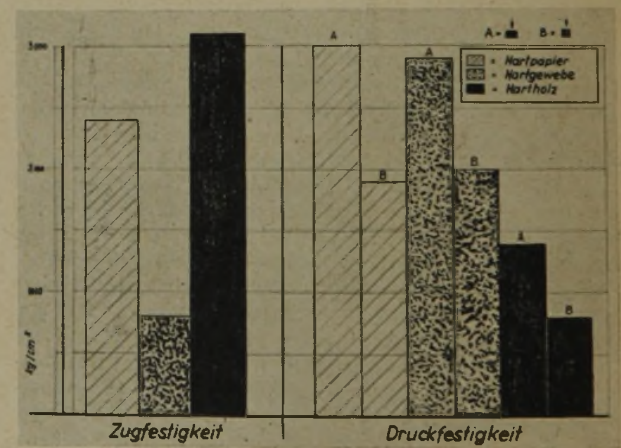


Abb. 5: Zug- und Druckfestigkeit von Schichtstoffen

Faserpreßstoffen, bei denen bereits Werte für die Schlagbiegefestigkeit von 90 cmkg/cm² erreicht sind, dar.

Abb. 5, 6 und 7 geben die gleichen Festigkeitswerte für geschichtete Werkstoffe, und zwar für Hartpapier, Hartgewebe und Hartholz wieder, aus denen die besondere Überlegenheit des Hartholzes klar hervorgeht.

Dynamische Festigkeitsuntersuchungen an Kunststoffen sind erst in neuerer Zeit eingehend in Angriff genommen worden.

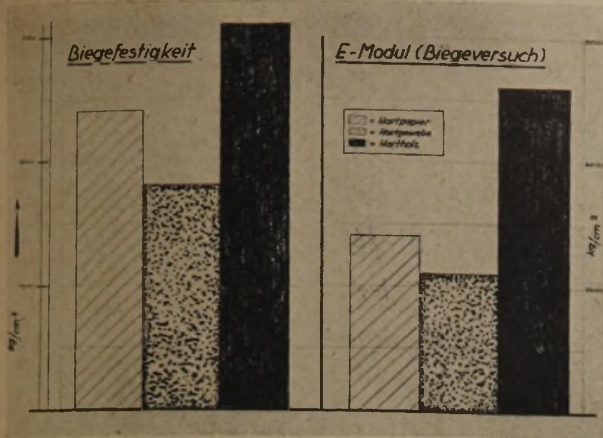


Abb. 6: Biegefestigkeit und E-Modul von Schichtstoffen

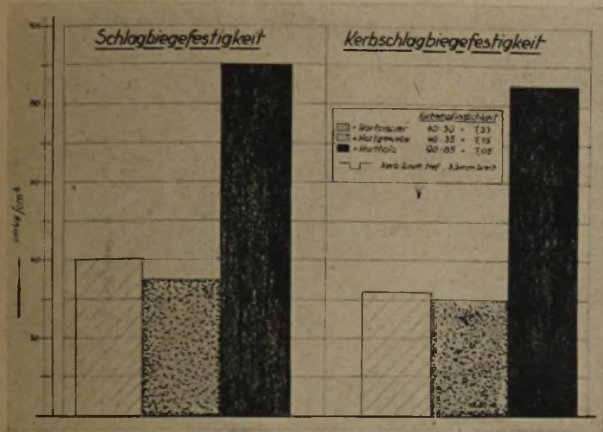


Abb. 7: Schlagbiege- und Kerbschlagbiegefestigkeit von Schichtstoffen

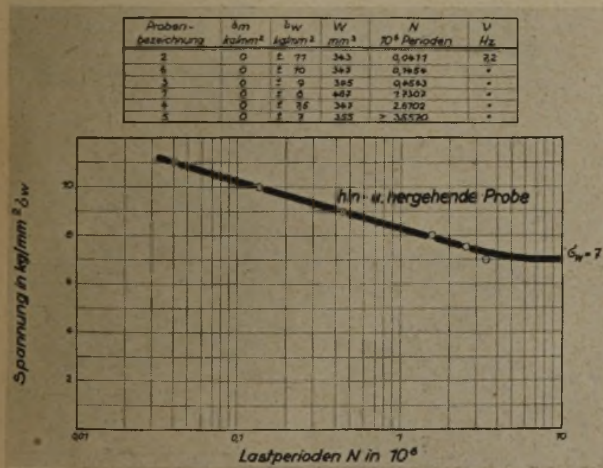


Abb. 8: Wechselbiegefestigkeit von Lignofol. Staatl. M. P. H. Dahlem

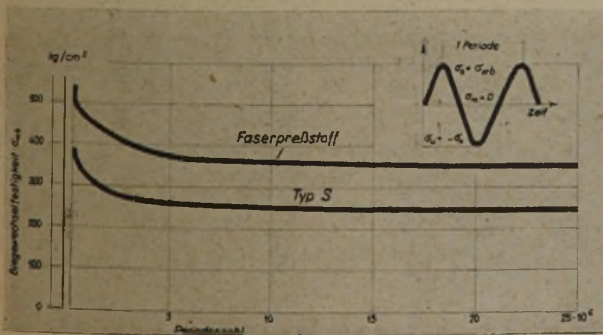


Abb. 9: Biegebruchfestigkeit von Preßstoffen. M. P. A. Darmstadt

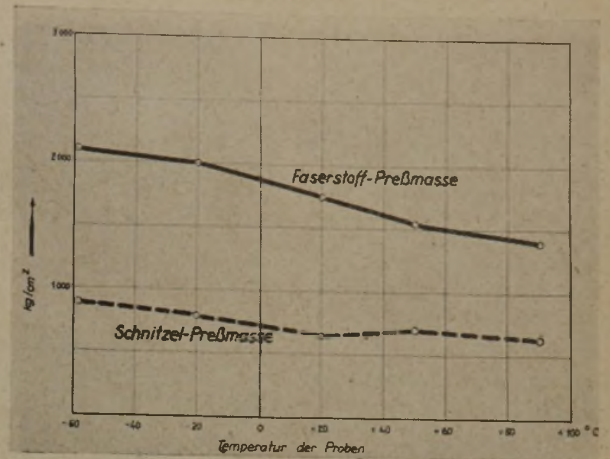


Abb. 10: Biegefestigkeit von Preßmassen bei verschiedenen Temperaturen (DVL-Institut für Werkstofforschung)

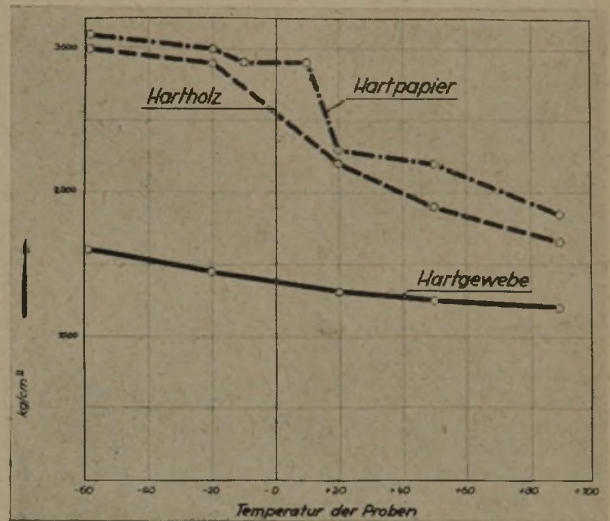


Abb. 11: Biegefestigkeit von Schichtstoffen bei verschiedenen Temperaturen (DVL-Institut für Werkstofforschung)

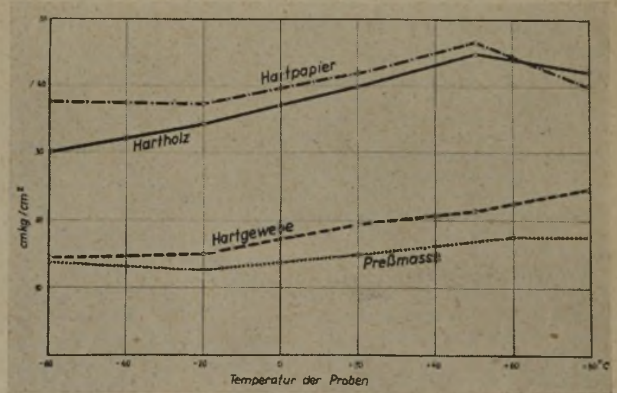


Abb. 12: Schlagbiegefestigkeit von Kunststoffen bei verschiedenen Temperaturen (DVL-Institut für Werkstofforschung)

Abb. 8 zeigt die Wechselbiegefestigkeitswerte für das synthetische Hartholz „Lignofol“. Der Wert von $7 \text{ kg}/\text{mm}^2$, der bei einer Lastwechselzahl von etwa 8 Millionen erreicht ist, muß als vorzüglich bezeichnet werden.

Die entsprechenden Werte für Holzmehlpreßmassen vom Typ 5 liegen, wie Abb. 9 zeigt, bei etwa $280 \text{ kg}/\text{cm}^2$ und bei Faserpreßstoffen bei $380 \text{ kg}/\text{cm}^2$. Abb. 10, 11 und 12 zeigen die Abhängigkeit der Biege- und Schlagbiegefestigkeit verschiedener Kunststoffe von der Temperatur.

Abb. 13 schließlich zeigt Dämpfungskurven für verschiedene Metalle im Vergleich zu verschiedenen Kunststoffen, aus denen die starke Dämpfung der letzteren hervorgeht. Eine derartig starke Dämpfung wirkt sich bei der Verwendung von Kunststoffen, z. B. für den Karosserie- und Flugzeugbau, günstig aus.

Es folgt weiter eine Reihe von Bildern, die die praktische Anwendung von Kunststoffen als eigentliche Konstruktionsstoffe zeigen. Abb. 14 bis 17 zeigen formgepreßte Versuchsstücke mit Hohlrippen und Anschlußflanschen, Rippenkreuzen und Befestigungswalzen, die für Festigkeitsversuche gedient haben und die gleichzeitig neue Konstruktionsmöglichkeiten in diesen Stoffen zeigen.

Abb. 18 zeigt eine Rippenschale, die auf Grund der gegebenen Festigkeitswerte statisch durchgerechnet wurde und die bei den praktischen Festigkeitsprüfungen vollkommen den errechneten Werten entsprach.

Die Abb. 19 und 20 zeigen gepreßte Karosserieteile.

Die Abb. 21 bis 23 zeigen Ausrüstungsgegenstände für Flugzeuge und Luftschiffe, die aus Astralon, einem synthetischen Werkstoff auf der Basis des Vinylchlorids, hergestellt sind und die



Abb. 14: Formgepreßtes Versuchsstück mit Hohlrippe und Anschlußflanschen

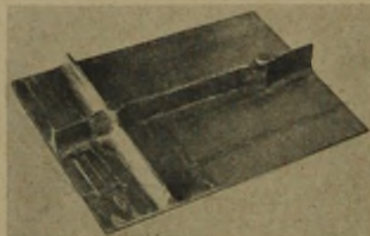


Abb. 16: Formgepreßtes Versuchsstück mit Rippenkreuz und Befestigungswalzen



Abb. 15: Formgepreßtes Versuchsstück mit Hohlrippe und Anschlußflanschen

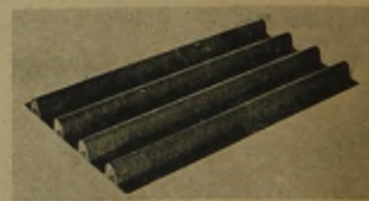


Abb. 17: Formgepreßtes Versuchsstück mit Hohlprofilen



Abb. 18: Rippenschale aus Preßstoffen



Abb. 19: Karosserieteile aus Kunststoffen



Abb. 21: Kühlschrank für LZ 130 „Graf Zeppelin“.

sich durch ihr besonders leichtes Gewicht auszeichnen.

Die Abb. 24 bis 26 zeigen tragende Flugzeugteile und komplette Versuchflugzeuge, deren tragende Teile unter ausschließlicher Verwendung von synthetischen Werkstoffen hergestellt sind.

Die Abb. 27 bis 31 zeigen Anwendungsbeispiele aus der allgemeinen Technik, bei denen Rohre und Rohrleitungen, Behälter und andere Formstücke aus säurebeständigen Mipolamplatten nach dem neu entwickelten Schweißverfahren hergestellt sind.



Abb. 22: Waschbecken aus Mipolam, Gewicht 1630 g

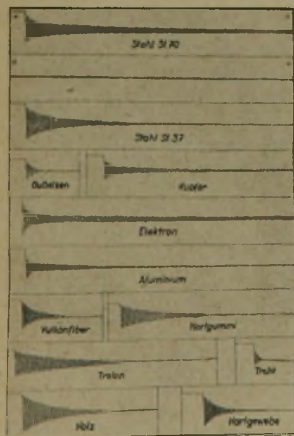


Abb. 13: Ausschwingkurven für verschiedene Werkstoffe (Wöhlerinstitut, Braunschweig)

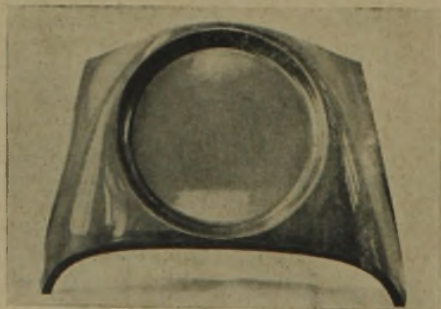


Abb. 20: Karosserieteile aus Kunststoffen

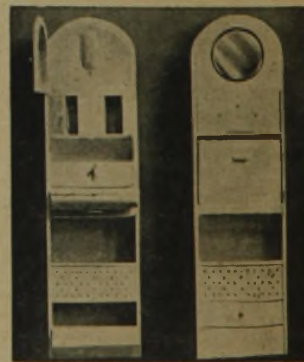


Abb. 23: Toilettenschrank mit Klappwaschbecken aus Mipolam für Luftfahrzeuge, Gewicht 10,5 Kilogramm



Abb. 24: Flügel für „Zögling“ aus Schichtstoffen



Abb. 27: Fülltrichter mit Schüttler aus Mipolam — PCU. Hersteller: Schrupp & Müller, Betzdorf (Sieg)

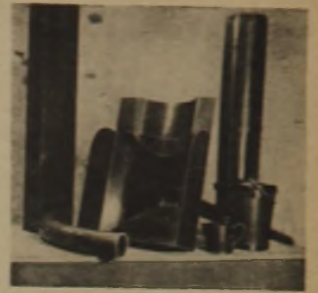


Abb. 28: Geschweißte Formteile aus Mipolam — PCU. Hersteller: Schrupp & Müller, Betzdorf (Sieg)



Abb. 25: Zweimotorige „Nurflügel“, Teilansicht eines Flügels



Abb. 29: Säurebehälter mit Wellenversteifung aus Mipolam — PCU. Hersteller: Schrupp & Müller, Betzdorf (Sieg)



Abb. 30: Hosenrohr aus Mipolam — PCU, geschweißt. Hersteller: Schrupp & Müller, Betzdorf (Sieg)



Abb. 26: Segelflugzeug „Zögling“, aus Schichtstoffen (Holzbauweise)

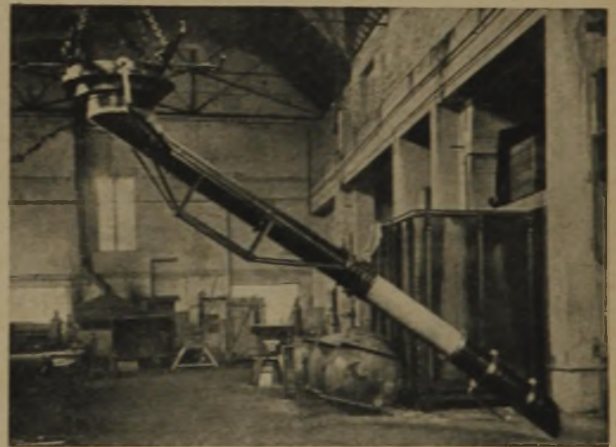


Abb. 31: Schwenkbarer Auslaufschacht aus Mipolam — PCU. Hersteller: Schrupp & Müller, Betzdorf (Sieg)

Berichtigung zum Aufsatz Kreißig: „Der Leichtbau als Konstruktionsprinzip“. In der Zahlentafel 1 muß es in der letzten Spalte, letztes Feld 72% statt 12% heißen.

Die Wiedergabe der Aussprachebeiträge sowie ein Bericht über die mit der Tagung verbundene „Fachschau Leichtbau“ muß wegen Platzmangels auf eine spätere Nummer dieser Zeitschrift verschoben werden. Die Schriftleitung.

Dieser Ausgabe der „Technischen Mitteilungen“ liegt eine Beilage der Versandbuchhandlung J. Kohl, Berlin, bei, die wir der besonderen Aufmerksamkeit unserer Leser empfehlen.

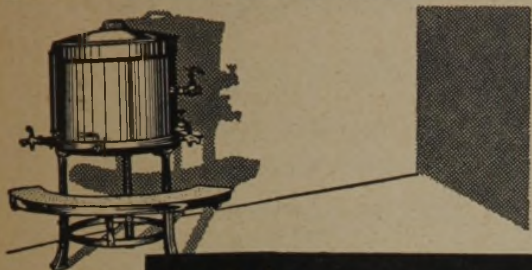
DIE VORTRÄGE DES HAUSES DER TECHNIK JAHRGANG 1937

sind in einem Sammelband zusammengefaßt erschienen. Das Buch enthält das Neueste aus den verschiedenen Gebieten der Technik und vermittelt dem Leser einen Überblick über den Wissensstand auf den Einzelgebieten der Technik. Es gibt den Hörern der Vorträge Gelegenheit, dieselben zur völligen Auswertung nachzulesen und den Nichthörern die Möglichkeit, sich mit den wichtigen und richtungweisenden Ausführungen vertraut zu machen. Der Umfang des Buches beträgt ca. 400 Seiten; es ist zum Preise von RM. 26,- zu beziehen durch:

VULKAN-VERLAG DR. W. CLASSEN

ESSEN - IM „HAUS DER TECHNIK“

Zur
Betriebskameradschaft



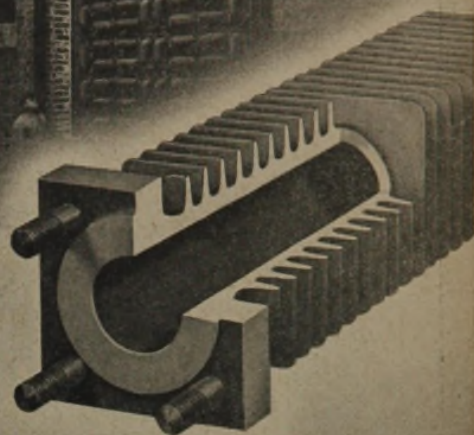
Küppersbusch Kaffeewasserkocher



für
Dampf, Gas u. Elektrizität
für Fabriken und Menagen, in
einfacher Ausführung, in jeder
Größe, mit und ohne Tropfrinne
lieferbar

F. Küppersbusch & Söhne AG., Gelsenkirchen

VEW-Hochleistungs-Economiser



Mit Rippenrohren bis 3 m Länge / Edelguß höchster Güteklasse / Lange Lebensdauer / Höchste Brennstoffeinsparung

VEREINIGTE ECONOMISERWERKE

Hilden, Rhld.

GMBH

Freital, Sa.

ALUMINIUM-ZENTRALE

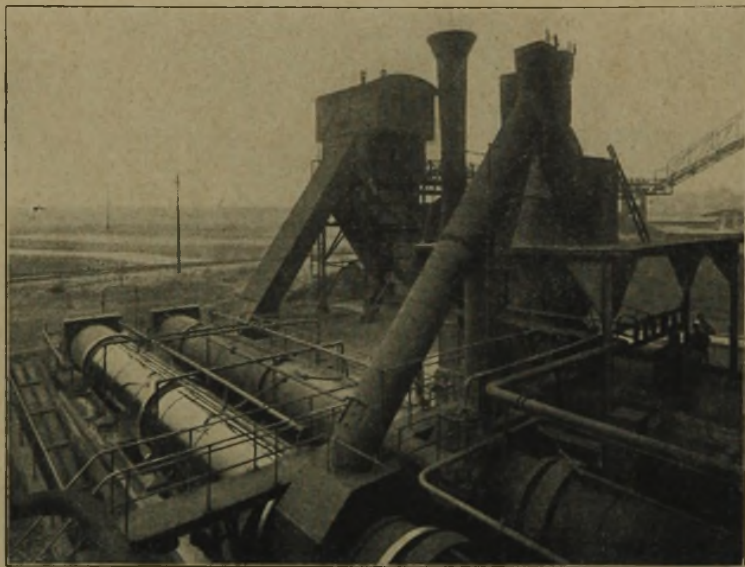
Organisation zur Förderung der Verwendung des Aluminiums und seiner Legierungen / Kostenlose Beratung in allen Fragen der Aluminium-Verarbeitung / Schulung und Ausbildung von Leichtmetall-Facharbeitern / Schrifttum über Aluminium und seine Legierungen / Prospekte anfordern

BERLIN W50 • BUDAPESTER 53

WILHELM FREDENHAGEN

MASCHINENFABRIK UND EISENGIESSEREI • OFFENBACH AM MAIN

1872 gegründet 1829



Fördertechnische
Einrichtungen
für Schwelwerke
Kokskühl- und
Alterungsanlagen
verschiedenster Art
Kohle- und Koks-
transport-, Sieb-
und Verladeanlagen

ZWEIGBÜRO:

ESSEN (RUHR)

Bismarckstraße 22

Fernsprecher 24893

OBERINGENIEUR

HASSELKUSS

**Steinkohle
Zechenkoks
Steinkohlenbriketts**
AUS DEN BERGBAUBEZIRKEN RUHR • AACHEN • SAAR



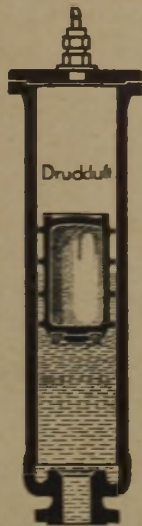
*werden wegen ihres hohen Heizwertes,
ihrer mannigfaltigen Brenneigenschaften und ihrer
verschiedenen Stückelung in allen industriellen, gewerblichen und
häuslichen Feuerungen mit sehr guten wirtschaftlichen und tech-
nischen Erfolgen verfeuert.*

Rheinisch-Westfälisches Kohlen-Syndikat · Essen

Dieser

Knorr
Schwimmer-
stoßdämpfer

beruhigt die gemeinsame
Druckleitung von mehreren
Kolbenpumpen



Ein Knorr-Schwimmerstoßdämpfer in der Druckleitung hinter Kolbenpumpen fängt die Druckwasserstöße wirksam ab, — die Rohrleitung schüttelt nicht, das Kesselspeiseventil schlägt nicht, — außerdem kann die Pumpe schneller laufen, ihre Leistung wird also gesteigert.

Ein Schwimmkolben scheidet im Druckwindkessel Luft und Wasser: so wird verhütet, daß das Wasser die Luft verzehrt. Daher bleibt das stoßdämpfende Luftpolster wochenlang erhalten. Sauerstoff der Luft kann nicht ins Speisewasser gelangen, Vorwärmerrohre und Kesselwände werden nicht angefressen.

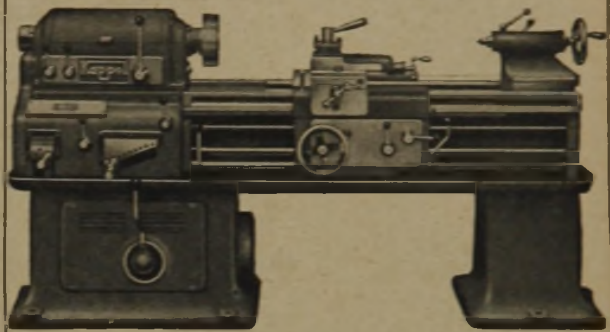
Wir bauen Stoßdämpfer reihenweise für Druckleitungen mit einer Förderleistung bis zu 100 t/h und für Höchstdrucke bis 100 kg/cm².



Kappel-Hochleistungs-Schneldrehbank Modell PKN

Einfache geschlossene Bauart mit folgenden Konstruktionsmerkmalen:

Kräftige Durchbildung aller Teile • Vollständige Entlastung der Hauptspindel vom Riemenzug • Geschützte doppelte Prismenführung • 12 Drehzahlen bis zu 1225 in der Minute • Genauigkeitsausführungen nach DIN • Höchste Ausnützung von Hartmetallschneiden • Norkasten für metr. und engl. Gewinde u. zahlreiche Vorschübe

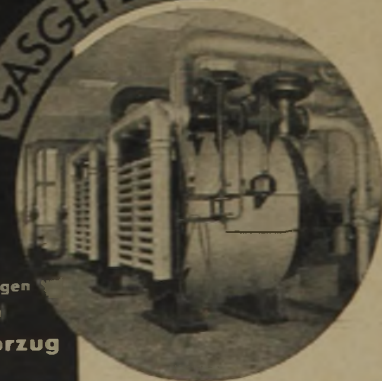


Maschinenfabrik Kappel Akt.-Ges., Chemnitz



Für kleinere Leistungen
(bis 200000 kcal/h)
mit Schornsteinzug

GASGEFEUERTE KESSEL



Für größere Leistungen
(bis 2000000 kcal/h)
mit Ventilatorzug

KNORR-BREMSE A-G BERLIN

BAMAG-MEGUIN
AKTIENGESELLSCHAFT BERLIN NW 87



**SCHALTGERÄTE
SCHALTANLAGEN**
jeder Art und Größe
**Für Bergwerks- und
Hüttenbetriebe**
in offener, gekapselter,
schlagwetter- und
explosionsgeschützter
Ausführung.

Erste elektrotechnische
Spezialfabrik Deutschlands
für Starkstrom-Schaltgeräte

VOIGT & HAEFFNER
AKTIENGESELLSCHAFT FRANKFURT, AM MAIN
1462

DEUTSCHE MESSINGWERKE

Carl Eveking Akt.-Ges.

BERLIN-NIEDERSCHÖNEWEIDE

Unsere Leichtmetalle:

ALUDUR

das Konstruktionsmaterial nach
Heeresgerät-Norm und Flieg-
Werkstoff-Leistungsblatt

HARTAL

der Schraubenwerkstoff mit den
Bearbeitungseigenschaften
des Automaten-Messings

REINALUMINIUM

in Form von

Stangen, Profilen, Drähten,
Rohren, Blechen, Bändern
und Preßteilen

SCHWERMETALLE

Messing, Kupfer, Bronze



HONSEL-WERKE

AKTIENGESELLSCHAFT

MESCHEDE

G E G R Ü N D E T 1908

LEICHTMETALL-GIESSEREIEN

Aluminium · Silumin · Hydronalium · KS-Seewasser-Leg.

in Sand-, Kokillen-, Spritz-, Preß- und Sturzguß

Elektron in Sand-, Kokillen-, Spritz- und Preßguß

Jede gewünschte Sonderlegierung

WALZWERKE für Reinaluminium DIN 1712 u. Aluminium-Leg.

Bleche · Bänder · Streifen

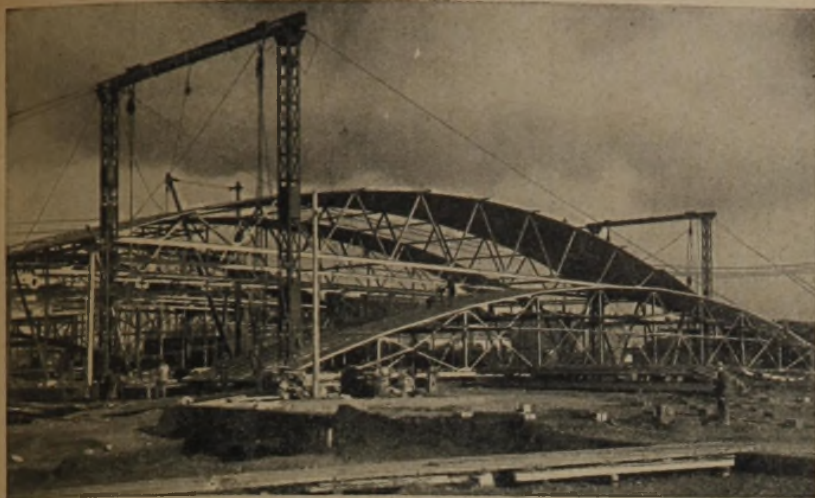
Scheiben

Howal DIN 1713 Gattung Al-Mg-Si

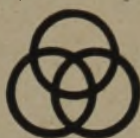
Hodur DIN 1713 Gattung Al-Cu-Mg

Ho 3 DIN 1713 Gattung Al-Mn

Krupp- Stahlbau

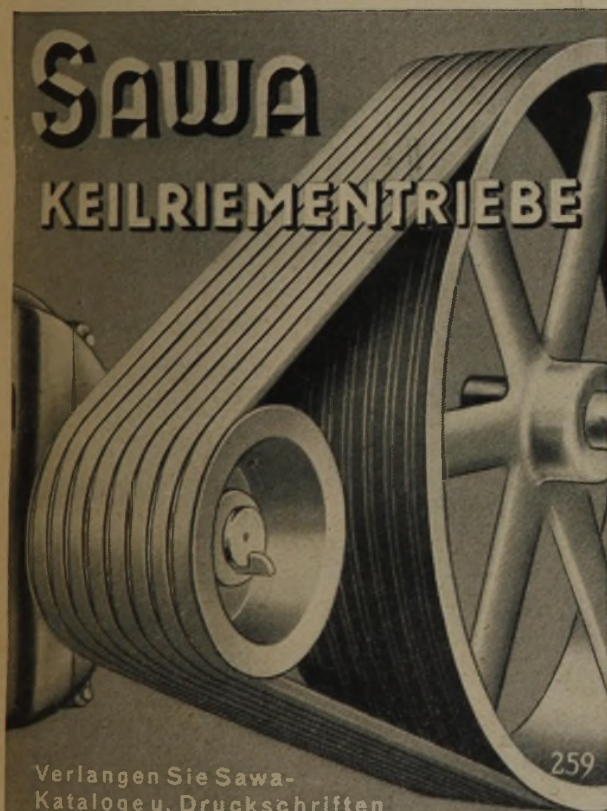


„Das Bild zeigt die Montage von „Krupp-Leichthallen“ auf der Ausstellung „Schaffendes Volk“, Düsseldorf, 1937, errichtet in Gemeinschaftsarbeit mit anderen Firmen, nach diesem System rund 160000 qm Hallen ausgeführt bzw. noch in Ausführung. Lieferbar bis zu den größten Stückweiten. Gewicht einschließlich Stützen, Fachwände, Lornischen und Verbände 75 kg/qm.“



KRUPP

Fried. Krupp Aktiengesellschaft Friedrich-Alfred-Hütte, Rheinhausen



Verlangen Sie Sawa-Kataloge u. Druckschriften über Keilriementriebe, Spannrollentriebe, Stirnrädergetriebe u. Schaltgetriebe

FRITZ SAUERWALD

Fabrik für Getriebebau / Wuppertal-Barmen



Vollelektrische Rohr- und Stangenglüherei. Anpassungsfähig für Schwer- und Leichtmetall. Ausgereifte Bauart, auch der Chargieranlagen

30 Anlagen in Betrieb

ELEKTRO-ÖFEN

OTTO JUNKER

LAMMERSDORF, ÜBER AACHEN 1

V.K.W.

180 at Dampfdruck kommen im Primärteil bei

25 V.K.W.-Steilrohrkesseln

mit Schmid'scher Dampfumformung im Hochdruckgebiet und bei natürlichem Wasserumlauf zur Anwendung.

Bewährte Konstruktionen, richtige Materialwahl, beste Werkstätten- u. Montagearbeit

sind Vorbedingungen für die Erzielung solcher Spitzenleistungen im Kesselbau. Im

Betriebsdruckgebiet von 50-125 at

liefern ausgeführte oder noch im Bau befindliche

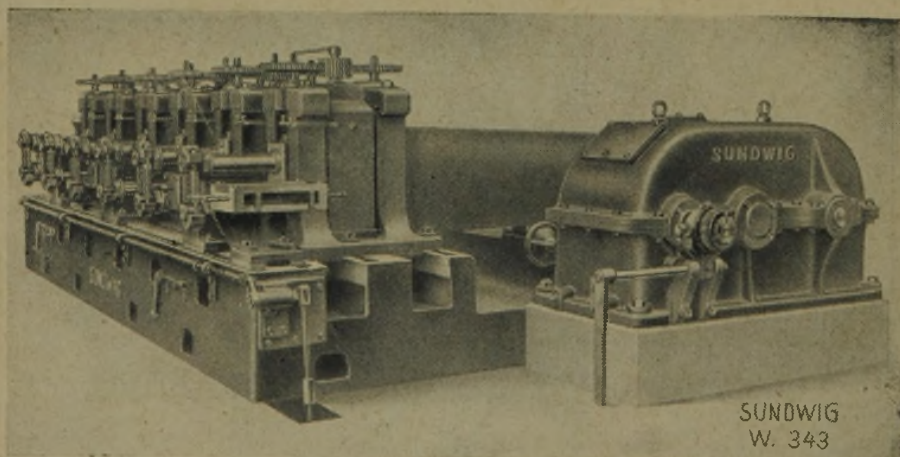
V. K. W.-Steilrohrkessel – V. K. W.-Sektionalkessel

V. K. W.-Schmidtkessel – V. K. W.-Bensonkessel

den Dampf für rund **980 000 kW** bezogen auf Kondensationsbetrieb

Vereinigte Kesselwerke A. G., Düsseldorf

Gleichzug-Spar-Profilwalzwerke



zur Herstellung von:

**Auto-,
Rolladen-,
Möbel-,
Flugzeug-,
Zeppelin-,
Profilen und
Rohren**

3 verschiedene Bauarten

Seitenrollentische
Universalrollentische
Ein- und Auslauftische
Richtapparate
Trennsägen
Profilziehbanken mit an-
gebauten Einrollgerüsten
Profilreckmaschinen

SUNDWIGER EISENHÜTTE

MASCHINENFABRIK GRAH & CO.

Sundwig in Westfalen, Kreis Iserlohn

Zerstörungsfreie
Materialprüfung
hilft
Werkstoff sparen
und
Arbeitszeitverluste vermeiden

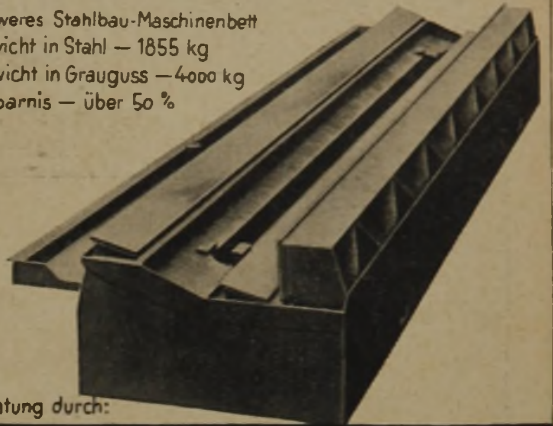


C. H. F. MÜLLER A.-G.
Hamburg / Berlin
Abt. Materialuntersuchung
Berlin NW 40 / Hindersinstraße 14

Diskus-Leichtbau

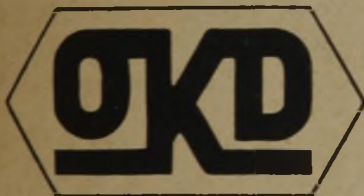
in der
Zellenstahlbauweise D.R.P.

Schweres Stahlbau-Maschinenbett
Gewicht in Stahl — 1855 kg
Gewicht in Grauguss — 4000 kg
Ersparnis — über 50 %



Beratung durch:

DISKUS WERKE FRANKFURT AM MAIN
MASCHINENBAU-AKTIENGESELLSCHAFT
FABRIK: FRANKFURT/M. - FECHENHEIM



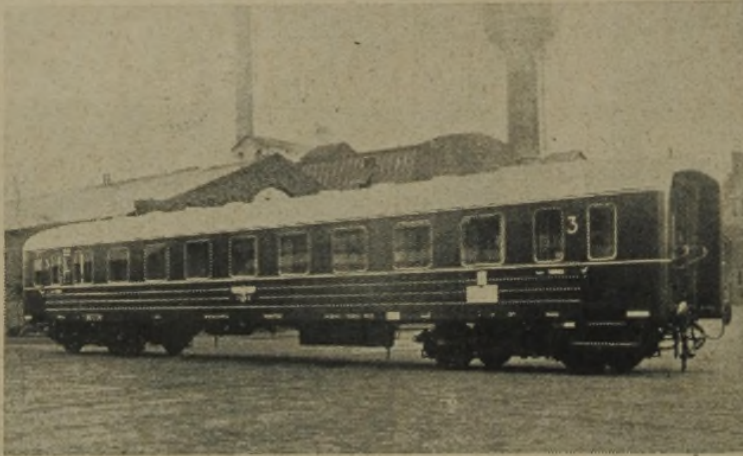
Leichtmetall-

ERZEUGNISSE

aus Reinaluminium, Stahlaluminium, Osmagal (DIN 1713, Al — Mn),
Okadur 6 (DIN 1713, Al — Cu — Mg), Zieral (DIN 1713, Al — Mg — Si)
Okadur 58 (dreh- und bohrfähig)

in Form von Blechen, Bändern, Ronden, Rohren,
Stangen Profilen, Drähten, Seilen, Litzen, usw.

OSNABRÜCKER KUPFER- UND DRAHTWERK, OSNABRÜCK
ABT. LEICHTMETALLWERK



Ein neuer Erfolg im Leichtbau!

D-Zug-Wagen 3. Klasse für die Deutsche Reichsbahn in Stahlleichtbauart (Schalenbauweise), Eigengewicht 27,8 t statt 39,5 t der bisherigen Bauart

Waggonfabrik Uerdingen A.G., Uerdingen

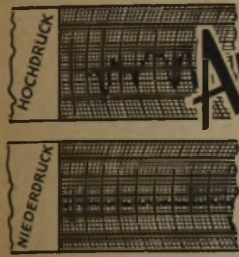
Werke in Uerdingen und Düsseldorf (Düsseldorfer Waggonfabrik)

GEBRÜDER SACHSENBERG A.G.

OLA-FLUGHALLENBAU

FLUGHALLEN
INDUSTRIEHALLEN
STAHLINDECKUNGEN
GROSSBEHÄLTERBAU
SCHIEBETORE · FALTTORE
LEICHTWÄNDE · GARAGEN
NEUZEITLICHER LEICHTBAU
IN STAHL UND LEICHTMETALL

BERLIN W 35, GROSSADMIRAL-V.-KOESTER-UFER 19, RUF 21 36 23/4



Auf den ist Verlass

Schon **8 Jahre**
ist er dauernd in Betrieb
und reguliert immer noch
mit einhundertstel Atmo-
sphären Genauigkeit

Verlangen Sie Schriftwerk Nr. 3



Druckregler

ALBERT LOB · DÜSSELDORF
MASCHINEN- U. APPARATEBAU G.M.B.H., POSTFACH 183, RUF 26446



„AUTO GAL“
FÜR DIE
ALUMINIUM-
UND
LEICHTMETALL-
ALLE LEGIERUNGEN
SCHWEISSUNG

»GRIESOGEN«

GRIESHEIMER AUTOGENVERKAUFS-G.M.B.H.
FRANKFURT(MAIN)-GRIESHEIM



Kabelwerk Duisburg

DUISBURG / FERNSPRECHER 34521

Altbewährte Spezialfabrik für

Starkstromkabel

aller Spannungen

Stauchschutz-Dehnungskabel

Fernkabel

Fernsprechkabel

mit Pupinspulenausüstung

Isolierte Leitungen

für alle Zwecke der Elektro-
technik

Isolierrohre

mit verbleitem Eisenmantel und
aluminiumplattiertem Eisenmantel
und Zubehör

Stahlpanzerrohre

und Zubehör

Magnesium-Guß in der bekanntesten Qualität APAG guten

Wir liefern:

ELEKTRON- der I.-G. HYDRONALUM-, SILUMIN-, ALUMINIUM-GUSS

Sämtliche Legierungen Sand- und Kokillenguß · Seit 15 Jahren aussch. auf Leichtmetall spezialisiert
Über 8 Millionen Leichtgußteile wurden geliefert · Beratung kostenlos durch unsere Fachingenieure

APAG Aluminium-Präzisionsguß A.-G., Babelsberg K 8 (bei Potsdam)

Vertreter für Rheinland und Westfalen: Obering. Adolf Klutmann, Düsseldorf, Speldorfer Straße 20, Fernsprecher 645 39



PuS-Leuchten

schlagwetter- und
explosionssicher

in
Teilliste 53



Elektrotechnische Fabrik

Pötter & Schütze G.m.b.H.

Essen-Rellinghausen, Fernsprecher: Sammel-Nr. 58051

Stahlbauwerke

genietet und geschweißt

für Bergbau, Hütten- und Walzwerke, chemische Großindustrie, Textilindustrie, Hochbau, Versammlungshallen, Lichtspieltheater, Gas-, Wasser- und Elektrizitätsanlagen.

STAHLBAU MIEDELMANN ESSEN



Midgard Lenk-lampen

DRP., DRGM., Ausl.-Pat.

beleuchten den Arbeitsplatz immer gut und zweckmäßig, schonen die Augen, steigern die Leistung und sparen Strom. **Industriewerk Auma, Ronneberger & Fischer Auma/Thüringen 250**



SULZE & SCHROEDER

Schornsteinbauten

Kesseleinmauerungen Rauchkanäle

Hannover, Geibelstr. 14

Fernruf 812 37 · Drahtanschrift: Schröderkamme

Es fehlt an Schweißern!

Wir bilden aus in der Gas-schmelz- u. Elektroschweißung
Ablegung aller Schweißfachprüfungen

Westdeutsche Schweißtechnische Lehr- und Versuchsanstalt, Duisburg, Sedanstraße 17a

Verlangen Sie Lehrgangsübersicht

ZERSTÄUBUNGS-



für Luftbefeuchtungs- und Klima-Anlagen, Warenbefeuchtung, Dampfsättigung, Kühlung, Gasreinigung usw.

**GEORG RICHTER
DRESDEN-A.29 B 18**

Sie erfassen

den deutschen Eisen- und Stahlhandel und die Röhren-, Fittings- und Armaturenverbraucher und -erzeuger durch Ihre Anzeig in der



Röhren- und Armaturen-Zeitschrift / Eisen- und Stahlhandel

Offizielles Organ der Fachgruppe Eisen- und Stahlhandel

**Vulkan-Verlag
Dr. W. Classen**

Essen, Fernr. Sa.-Nr. 26241, Schließfach 230