

angreifende Feder F in eine bestimmte Biegungsspannung versetzt. Alle ausserhalb der neutralen Mittelfaser gelegenen Fasern erfahren bei jeder vollen Umdrehung wechselnde Zug- und Druckspannungen. Bei dieser Art

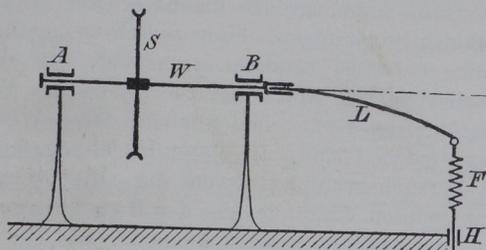


Fig. 224.

der Inanspruchnahme herrschen die grössten Spannungen nur im gefährlichen Querschnitt, also am Uebergang zur Einspannung.

319. Die Wöhlersche Maschine zur Ausführung der Dauerversuche auf Verdrehung hat folgenden Konstruktionsgrundsatz, Fig. 225. Sie ist sowohl für rechts, als auch für links drehende Momente eingerichtet, und man kann auch beide abwechselnd wirken lassen. Die Kraftmessung geschieht, wie früher, durch die Federn F und F_1 . Der Probestab ist in L senkrecht zur Ebene der Zeichnung angebracht und an dem einen Ende mit dem Doppelarme BB_1 , an dem andern mit dem Antriebshebel D fest verbunden. Bei der Bewegung von D legt sich die Nachstellschraube N oder N_1 auf das Ende des Hebels A oder A_1 und bringt ihn zum Abheben

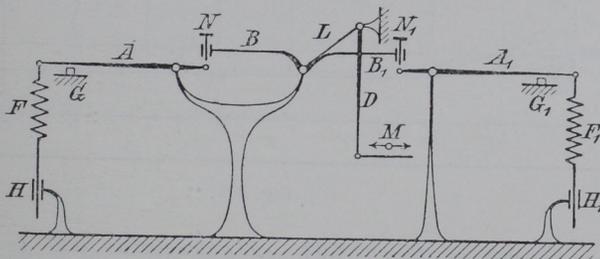


Fig. 225.

von G oder G_1 . Hierdurch wird ein bestimmt bemessenes Drehmoment erzeugt. Sollen abwechselnd rechts und links drehende Momente benutzt werden, so stellt man beide Schrauben N und N_1 so ein, dass bei jedem Doppelhube von D die beiden Hebel A und A_1 gerade von G und G_1 abgehoben werden.

4. Ergebnisse der Wöhlerschen Versuche.

320. Wenn die Bauschingerschen Gesetze auch noch des weiteren Ausbaues und der Bestätigung ihrer allgemeinen Gültigkeit bedürfen, so haben sie doch den Weg zum Verständniss der Vorgänge bei den Dauerversuchen bereits eröffnet.

Nach dem Gesetz k (314) kann man erwarten, dass ein Körper un-

zählige Anstrengungen zwischen Null und einer oberen Grenze vertragen wird, wenn diese obere Grenze so bemessen wurde, dass sich infolge der wiederholten Anspannungen die P -Grenze von ihrer ursprünglichen Lage bis über die obere Anspannungsgrenze hinaus erheben kann.

Für den Fall des Spannungswechsels zwischen Zug und Druck lassen die Gesetze n und o (314) es rätlich erscheinen, die obere Spannungsgrenze allmählich zu steigern, weil sonst zu Anfang des Versuches Ueberanstrengungen des Materiales entstehen können, deren Wirkungen nachher nicht wieder gut zu machen sind. In dieser Beziehung fehlt es aber noch an ausreichenden Versuchsgrundlagen, da die unter den ebengenannten Umständen zu erwartenden Vorgänge aus den Bauschingerschen Gesetzen noch nicht erschöpfend erkannt werden können.

321. Die Aufgabe der Dauerversuche ist es, für verschiedene Arten der Inanspruchnahme und für alle wichtigen Konstruktions-

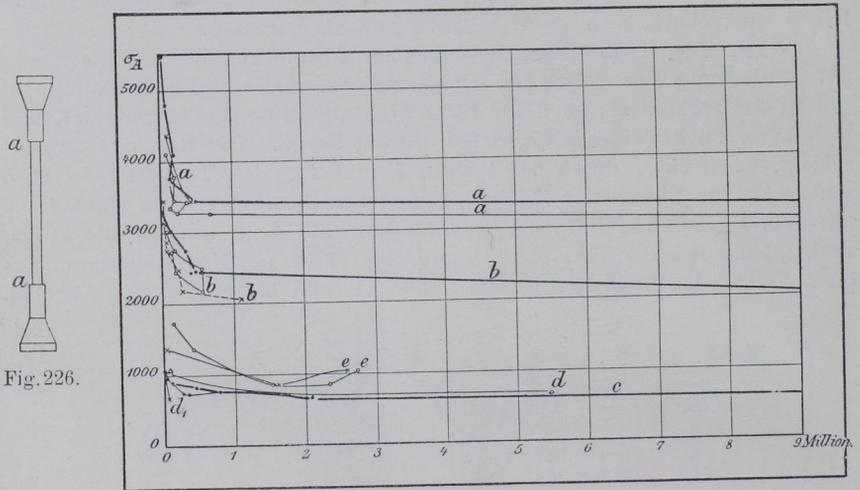


Fig. 226.

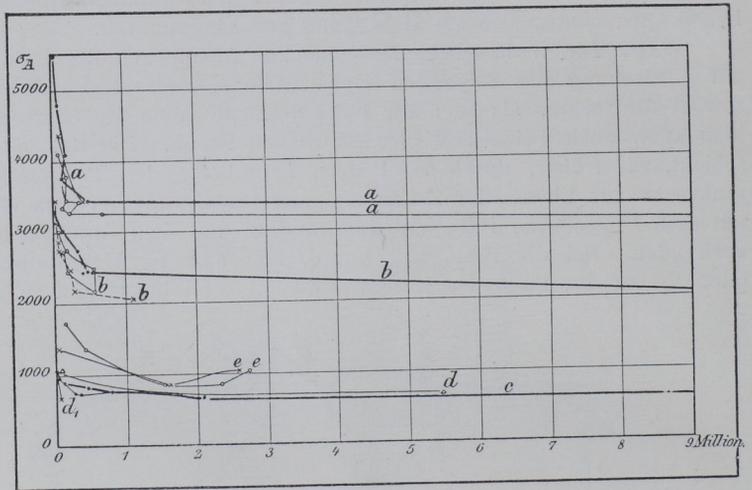


Fig. 227.

materialien diejenige Spannung aufzusuchen, die letztere ertragen können, ohne dass durch eine sehr grosse Zahl von Anspannungen der Bruch herbeigeführt wird. Diese Spannung wurde (312) die Arbeitsfestigkeit σ_N des Materiales für die betreffende Beanspruchungsart genannt.

Wöhler hat versucht, diese Spannungsgrenzen unmittelbar durch den Dauerversuch festzustellen. Zu dem Zweck hat er Stäbe aus gleichem Material und von gleicher Form mit verschiedenen Anspannungsgrenzen geprüft und die Zahl n der Anspannungen festgestellt, die von seinen Stäben bis zum Bruch vertragen wurden. Aus den Ergebnissen dieser Versuche lassen sich Schaulinien ableiten, deren Verlauf gesetzmässig ist, und aus denen man dann leicht die Grenzspannungen, d. h. die Arbeitsfestigkeiten erkennen kann. Es wird aus den in Abs. 310 angegebenen Gründen genügen, hier den allgemeinen Charakter und die grossen Züge der Ergebnisse mitzutheilen; ich benutze hierbei im Wesentlichen die Versuchsreihen von Wöhler und Spangenberg (L. 174, 175).

322. Für die Zugversuche (316, Fig. 222) wandten Wöhler und Spangenberg Stäbe von der in Fig. 226 dargestellten Form an, bei denen die Uebergänge an den Ecken *a* entweder durch eine Hohlkehle oder unvermittelt, scharf unter rechtem Winkel stattfanden. In Fig. 227 giebt Gruppe *a* die Zahl *n* der Anspannungen an, die angewendet werden mussten, um einen auf Zug zwischen den Grenzen Null und $+\sigma_A$ beanspruchten Stab obiger Form zum Bruch zu bringen. Die Zahl *n* der Anspannungen σ_A nimmt mit fallendem σ_A zu; die durch die beobachteten Werthe gelegte Ausgleichlinie fällt also und berührt die Gerade σ_N , Fig. 228, asymptotisch. Diese Gerade entspricht derjenigen Spannung σ_N , durch welche kein Bruch mehr erzeugt wird, d. h. der Arbeitsfestigkeit des Materiales bei oft wiederholter Zugbeanspruchung zwischen 0 und $+\sigma_N$.

Die Arbeitsfestigkeit für Zugbeanspruchung unter den genannten Umständen kann man für die untersuchten Materialien wie folgt annehmen:

- A) Zugbeanspruchung; Stäbe mit Hohlkehle
- | | | |
|----------------------------|--------------------------|-------------------|
| a) Gussstahl | $\sigma_N = 3000$ at | } siehe Fig. 227. |
| b) Eisen | " = 2000 at | |
| c) Gusseisen und d) Bronze | " = 600 at | |
| e) Phosphorbronze | " = 700 at ¹⁾ | |

323. Einen ganz ähnlichen Verlauf würden die Linien zeigen, welche die Zahl der Anspannungen darstellen, die auf Biegung (317, Fig. 223) zwischen Null und σ_A beanspruchte Stäbe bei abnehmenden Werthen für σ_A bis zum Bruch ertragen. Auch hier findet sich aus den Versuchen die Assymptote σ_N in gleicher Weise, wie in Fig. 228 dargestellt.

Die Arbeitsfestigkeit für Biegungsbeanspruchung

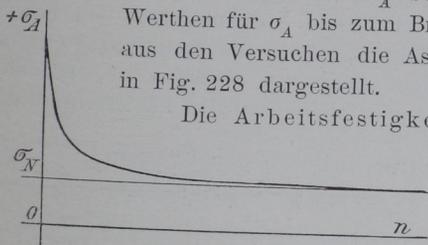


Fig. 228.



Fig. 229.

unter den genannten Umständen kann man nach den Versuchsergebnissen für die untersuchten Materialien etwa wie folgt annehmen:

- B) Biegungsbeanspruchung
- | | |
|--------------|----------------------|
| a) Gussstahl | $\sigma_N = 3300$ at |
| b) Eisen | " = 2300 at |
| c) Bronze | " = 800 at |

Auch für den Fall, dass die Stäbe auf Durchbiegung unter gleichzeitiger Drehung des Stabes, also zwischen $+\sigma_A$ und $-\sigma_A$, wechselnd, geprüft werden (318 Fig. 224) haben die Schaulinien einen ähnlichen Verlauf wie in Fig. 228. Unter diesen Umständen und bei der in Fig. 229 gezeichneten Stabform [bei *a* Hohlkehle oder scharfer Uebergang], beträgt die Arbeitsfestigkeit der untersuchten Materialien etwa:

¹⁾ Diese Werthe können selbstverständlich nicht verallgemeinert werden, zumal der Materialcharakter im Laufe der Jahrzehnte ein ganz anderer geworden ist, als er den von Wöhler und Spangenberg benutzten Stäben entsprach.

C) Biegung nach allen Seiten, Stäbe mit Hohlkehle

- a) Gussstahl $\sigma_N = 1800$ at
 b) Eisen „ = 1300 at
 c) Kupfer „ = 800 at.

324. Eine wesentlich höhere Anspannung σ_A kann das gleiche Material vertragen, wenn man die Spannung nicht auf Null zurückgehen, sondern die Anspannung σ_A zwischen einem Minimum und Maximum schwingen lässt. Die Ergebnisse solcher Versuche lassen sich für Biegungsbeanspruchung (317, Fig. 233) in der

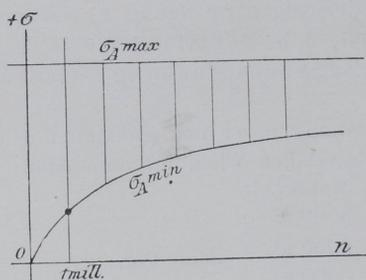


Fig. 230.

in Fig. 230 dargestellten Weise veranschaulichen. Die Linienzüge geben die Anzahl der Anspannungen n bis zum Bruch an, die das Material verträgt, wenn man es zwischen der durch die Ordinaten des Linienzuges $\sigma_{A \max}$ gegebenen oberen Grenze und einer durch die Ordinaten des Linienzuges $\sigma_{A \min}$ angegebenen unteren Grenze schwingen lässt; die Abscisse giebt die Zahl n der Anspannungen an, die den Bruch herbeiführen.

Entnimmt man unter Zuhilfenahme einer solchen Darstellung aus den Wöhler-Spangenberg'schen Versuchen nach ungefährender Schätzung diejenigen Spannungsgrenzen, die nach 1 Million Anspannungen den Bruch bei ungehärtetem Federstahl herbeiführten, sowie die Spannungsgrenzen, bei denen ein Bruch überhaupt nicht mehr zu erwarten ist, für die also $n = \infty$ wird, so kann man folgende kleine Tabelle niederschreiben:

E) Biegungsbeanspruchung zwischen den Grenzen.

a) obere	} σ_A	max at	4000	4790	5470	6150	6840
untere		min at	0	1300	2200	3300	4100
für Bruch nach $n = 1$ Million							
Unterschied $\sigma_{\max} - \sigma_{\min}$ at			4000	3490	3270	2850	2740
b) untere σ_A		min at	0	1500	2500	3800	4500
für Bruch nach $n = \infty$							
Unterschied $\sigma_{\max} - \sigma_{\min}$ at			3700 ¹⁾	3290	2970	2350	2340

Aus diesen Zahlen geht hervor, dass nicht allein die Höhe der Maximalanspannung für die Widerstandsfähigkeit des Materiales gegen oft wiederholte Anspannung maassgebend ist, sondern dass hierbei ganz besonders auch die Grösse der Schwingung, die Amplitude, in Frage kommt. Je höher die obere Grenze der

1) Obere Grenze für $\sigma_{\min} = 0$ war $\sigma_{\max} = 3700$ at.

Anspannung heraufrückt, desto kleiner muss der Schwingungsausschlag werden, wenn nicht durch oft wiederholte Beanspruchung der Bruch erzeugt werden soll. Die Grenze für σ_{\min} muss schneller wachsen als diejenige für σ_{\max} .

Wöhler hat bei seinen Dauerversuchen ganz besonders auch die Verderblichkeit der scharfen Uebergänge von einem Querschnitt eines Konstruktionstheils zum anderen erwiesen und so eine alte Erfahrung des Maschinenbaues zahlenmässig bestätigt.

Die Wöhlerschen Erfahrungen über die Wirkung der scharfen Ansätze kommen in folgenden Zahlen zum Ausdruck.

Bei den Versuchen auf Biegung unter Umdrehung der Stäbe um ihre Axe (323) ergaben die aus einer Eisenbahnaxe geschnittenen gleichen Stäbe, von denen ein Theil scharf abgesetzt, der andere mit Hohlkehle versehen war:

a) Eisen, Stäbe mit Hohlkehle $\sigma_N = 1300$ at,

b) „ Stäbe scharf abgesetzt „ = 1000 at,

die Arbeitsfestigkeiten in den Fällen a und b verhalten sich also wie 100:77.

Auch für Zugfestigkeit hat Wöhler die Schädlichkeit der scharfen Uebergänge erwiesen. Er fand die Anzahl n der zum Bruch führenden Anspannungen für

a) Stahl, bei $\sigma_A = 3130$ at $n = 13,6$ Mill. Hohlkehle

„ = 2050 at $n = \infty$ „ scharf abgesetzt

b) Eisen, bei $\sigma_A = 2460$ at $n = 0,41$ „ Hohlkehle

„ = 2460 at $n = 0,04$ „ scharf abgesetzt

also, wenn man die in Vergleich gestellten Zahlen als nahezu unter gleichen Umständen gefunden gelten lässt, eine erhebliche Verminderung des Sicherheitsgrades durch den scharfen Ansatz.

Hier ist es nothwendig, nochmals auf den Gegensatz zu den früher besprochenen Erfahrungen zu verweisen. Aus Absatz 99 bis 104. S. 59—65 ergab sich, dass wegen ihrer Wirkung als Stabköpfe, die scharfen Ansätze eine Erhöhung der Festigkeit zur Folge haben und zwar konnte bei den Zugversuchen mit Schraubenbolzen (S. 64) eine Erhöhung von fast 20% nachgewiesen werden. Wie sich hier aus den Wöhlerschen Versuchen ergibt und aus der Erfahrung von Alters her bekannt ist, bedeutet aber diese Erhöhung der Festigkeit noch keineswegs eine Erhöhung des Sicherheitsgrades des Konstruktionstheiles, an dem der scharfe Ansatz vorhanden; vielmehr erscheint der Sicherheitsgrad an dieser Absatzstelle ganz erheblich verringert; in welchem Maasse dies geschieht, darüber geben die Zahlen des vorigen Absatzes genügend Auskunft. Der Grund der Sicherheitsverminderung scheint mir aber der gleiche zu sein, den man früher (100 bis 103) für die Festigkeitserhöhung in Anspruch nahm. Die Festigkeitserhöhung tritt ein, weil die Formänderungsfähigkeit im gefährlichen Querschnitt durch die scharfen Uebergänge vermindert wird. Aus gleichem Grunde ist aber in den scharfen Uebergängen die Arbeitsfähigkeit vermindert. Die Formänderungen [Längen- und Querschnittsänderungen] erstrecken sich bei allmählichem Uebergang auf eine verhältnissmässig grössere Materialmenge, als bei scharfem Uebergang; das Arbeitsvermögen der Raumeinheit wird also im gefährlichen Querschnitt in geringerem Maasse in Anspruch genommen, wenn allmähliche Uebergänge vorhanden sind.

5. Neuere Dauerversuche.

325. Bei der in Absatz 318 Fig. 224 beschriebenen Wöhlerschen Dauerversuchsmaschine für wechselnde Biegung in verschiedenen Ebenen [Biegung unter Umdrehung des Stabes] wird der Stab nur in