

Anspannung heraufrückt, desto kleiner muss der Schwingungsaussschlag 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

dem gefährlichen Querschnitt neben der Einspannstelle voll beansprucht. Die nach den Bauschingerschen Gesetzen (314) zu erwartenden Aenderungen der Materialeigenschaften und die etwaigen von der Arbeitsleistung des Materiales abhängigen Aenderungen seines Gefüges und seiner physikalischen Eigenschaften gehen also vorwiegend nur in einer kleinen Stabstrecke vor sich.

Um die grösste Spannung über eine grössere Länge gleichmässig zu vertheilen und hierdurch die Möglichkeit zu gewinnen, die während des Dauerversuches im Material vorgegangenen Veränderungen besser feststellen zu können, konstruirte ich im Jahre 1885 für die Charlottenburger Versuchsanstalt eine Maschine nach dem Schema Fig. 231 derart, dass der Stab L die ganze Länge aa_1 hat und in den Lagern A und A_1 drehbar, aber derart beweglich gelagert ist, dass die Lager den Biegungen des mittleren Stabtheiles folgen können. Beanspruchen ihn unter diesen Umständen an den beiden gleich langen Hebeln Aa und A_1a_1 gleiche Kräfte F und F_1 , so erfährt der Stab in der ganzen Länge bei gleichbleibendem Querschnitt eine gleichmässige Beanspruchung.

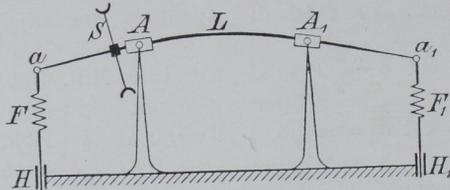


Fig. 231.

Alle im Material wegen der oft wiederholten Anspannungen durch wechselnde Zug- und Druckspannung auftretenden Aenderungen müssen sich nun auf den ganzen prismatischen Stabtheil zwischen A und A_1 gleichmässig erstrecken. Sie werden sich also durch eine nachträgliche sorgfältige Festigkeitsprüfung in der Zerreißmaschine besser bemerkbar machen müssen, als es bei der vorher beschriebenen Anordnung möglich war.

Um den Zerreißversuch schnell und bequem durchführen zu können, ist der Theil des Stabes zwischen AA_1 so geformt, dass der Stab nach dem Abschneiden der Enden Aa und A_1a_1 einen Normalrundstab von 2,0 cm Durchmesser liefert.

Der Versuch selbst wird so angeordnet, dass aus einem grossen gewalzten Block neben einander eine Reihe von Probestäben entnommen wird. Einer dieser Stäbe wird mit einer Spannung, die über die Arbeitsfestigkeit des Materiales sehr wahrscheinlich hinausgeht, in die Maschine gebracht und so lange gedreht, bis der Bruch erfolgt.

Da die Arbeitsfestigkeit sich durch den Versuch nur auf sehr langwierigem Wege feststellen lässt, so mussten die anzuwendenden Arbeitsfestigkeiten in Wirklichkeit bei den Versuchen geschätzt werden. Bei dem sehr verschiedenen Charakter des zur Verfügung stehenden Materiales waren diese Schätzungen mit vielfachen Missgriffen verbunden, so dass die noch immer nicht abgeschlossenen Versuche einen sehr viel grösseren Zeitraum in Anspruch nehmen werden, als ursprünglich vorgesehen wurde. Ein Beweis, wie mir scheint, dass die Dauerversuche noch erheblich ausgedehnt werden sollten, da die Ergebnisse in so hohem Maasse vom Charakter des Materiales abhängen (*L 110*, S. 136).

Nach erfolgtem Bruch des ersten Stabes werden die Schwesterstücke

in die Maschine gelegt und bei gleicher Anspannung mit $\frac{1}{5}$, $\frac{2}{5}$, $\frac{3}{5}$, $\frac{4}{5}$ der zum Bruch erforderlichen Umdrehungen beansprucht. Hierauf werden die Enden der Stäbe abgeschnitten und die Stäbe auf der Festigkeitsprobiermaschine geprüft. Die so gewonnenen Ergebnisse werden mit den Ergebnissen von Normalrundstäben aus unbeeinflusstem Material des gleichen Blockes verglichen. Ausser diesen Prüfungen werden noch mikroskopische Untersuchungen über etwaige Gefügeänderungen infolge der oft wiederholten Anstrengung unternommen.

326. Dauerversuche wurden, wie schon angedeutet, auch in England und Amerika mehrfach ausgeführt, so z. B. von Kennedy, Howard u. A. Im Massachusetts Institute of Technology in Boston, Mass., ist beispielsweise eine Maschine ganz ähnlicher Art im Betriebe, wie sie vorhin beschrieben wurde; sie ist nach dem Schema Fig. 232 konstruiert. Gleiche Theile tragen die gleichen Bezeichnungen wie in Fig. 231. Der Stab L wird durch die Feder F mittelst des Hebels B gespannt und mittelst einer eigenartigen federnden Kuppelung durch eine biegsame Wellenleitung in

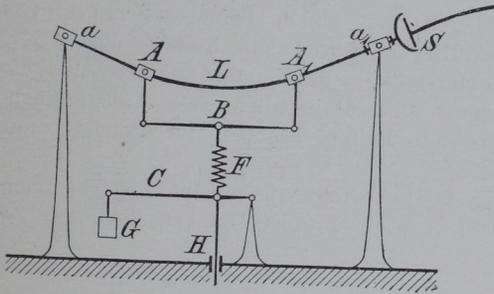


Fig. 232.

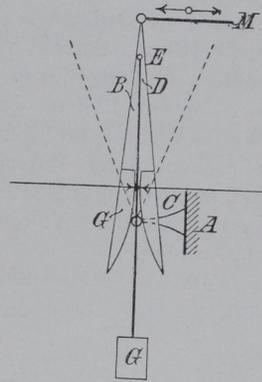


Fig. 233.

der Minute 500 mal umgedreht. Die Spannung der Feder geschieht mittelst des Kontrollgewichtes G am Hebel C . Die Feststellung durch die Klemme in H . Der Antrieb erfolgt durch einen Tag und Nacht laufenden Elektromotor. Von Zeit zu Zeit werden die elastischen Durchbiegungen im Ruhezustande und in verschiedenen Stablagen gemessen.

327. Eine Maschine, um Körper gleichzeitig auf Zug- und Biegebungsbeanspruchung zu prüfen, konstruirte ich für die Charlottenburger Versuchsanstalt; ihr Schema ist in Fig. 233 dargestellt. Diese Maschine ist hauptsächlich für die Prüfung von Drähten, Litzen und dünnen Seilen benutzt worden, um Beziehungen zwischen dem Rollendurchmesser und der Seilkonstruktion von Seiltrieben u. s. w. aufzusuchen. Der zu prüfende Draht wird in E an einem Hebel B befestigt, der von der Schubstange M um den Festpunkt A in schwingende Bewegung versetzt wird. Der mit dem Gewicht G belastete Draht legt sich bei jeder Schwingung des Hebels gegen die Backen CC , die nach einem Kreisbogen von bestimmtem Halbmesser geformt sind. Der Draht erfährt also bei jeder Schwingung des Hebels neben seiner Zugbeanspruchung noch Biegebungsbeanspruchungen. Die Lage des Schwingungspunktes A gegenüber den Kurvenstücken C wird so gewählt, dass die Seitenbewegungen der Probe möglichst klein ausfallen.

Aufgabe des Versuches ist es, die Zahl der Biegungen festzustellen,

die ein Draht, die Litze eines Seiles oder das Seil selbst, bei verschiedener Konstruktion der Proben, um Rollen von bestimmtem Halbmesser bei gleichzeitigen Zugbeanspruchungen vertragen kann. Die Seilscheibendurchmesser müssen so bemessen werden, dass neben grösster Leistungsfähigkeit des Triebwerkes der Seilverbrauch möglichst gering wird.

328. Die Beschreibung eines von mir für die Charlottenburger Anstalt konstruirten Fallwerkes, mit welchem Seile und Seilverbindungen auf oft wiederholte Schlagbeanspruchung unter gleichzeitiger Belastung auf Zug geprüft wurden, gab ich bereits in Abschnitt 232 (*L 153*).

329. Wöhler hat auch Schlagdauerversuche angestellt, um die Wirkung der Radstösse auf das Material an den Fugen der Schienenköpfe zu studiren. Er liess hierbei auf die Schienenköpfe einen mechanisch angetriebenen Hammer schlagen (*L 157*).

330. Eine ähnliche, von H. Meyer konstruirte Maschine hatte die französische Westbahn 1878 in Paris ausgestellt; sie diente dazu um fertig aufgezoogene Radreifen auf dem Radgestell vor der Inbetriebnahme durch eine bestimmte Anzahl von Schlägen mit einem 8 kg schweren Hammer zu probiren (*L 183*, S. 39). Die Bahnverwaltung hatte seit dem Jahre 1875 über 56000 Reifen durch Schlägen mit einem Schmiedehammer von 8 kg Gewicht¹⁾ probiren lassen. Hierbei waren 243 Reifen, also 2,3% gebrochen, deren Material (Bessemerstahl — das heutige Material und die jetzigen Befestigungsarten sind ganz andere) in allen Fällen als schlecht erkannt wurde. Von den erprobten Reifen brachen im Betriebe nur sehr wenige.

Die Maschine [Schema Fig. 233] besteht aus einem Federhammerwerk *F*, das durch mechanischen Antrieb mittelst Daumenscheibe *D* ge-

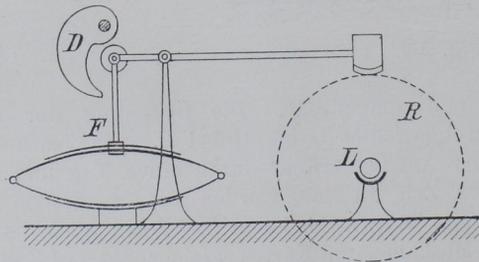


Fig. 234.

spannt wird und 50 bis 60 Schläge in der Minute auf die Reifen des in seinen Lagern *L* unterstützten und langsam gedrehten Radgestelles *R* abgibt. Die Konstruktionszeichnungen sind in der Quelle auf Taf. VII gegeben.

331. Dauerversuche, die den Zweck hatten, die Güte verschiedener

¹⁾ Das zweckmässige Hammergewicht wurde besonders an Versuchsreihen ermittelt, die in der Quelle mitgetheilt sind, indem man mit verschiedenen Schmiedehämmern Stahlkegel in einen Bleiblock eintreiben liess, die bei jedem Schläge erreichte Eindringungstiefe mass, und nun durch fallende Gewichte die gleichen Kegel in das Blei eintreiben liess. Die Fallhöhe wurde so lange geändert, bis man gleiche Eindringetiefen erhielt wie bei den Schlägen aus freier Hand; man gewann aus den hierfür ermittelten Fallarbeiten ein Maass für die von Menschen mit verschiedenen schweren Hämmern geleistete Schlagarbeit.

Radreifenbefestigungen durch den Versuch zu erproben, wurden von Büte (*L 184*) ausgeführt. Bei diesen Versuchen lagerte das fertige Radgestell in seinen Achsbüchsen und wurde unter Druck gegen Scheiben angepresst, welche die Schienen vorstellend, so in Umdrehung versetzt wurden, dass die Geschwindigkeiten des Eisenbahnbetriebes erzielt werden konnten. Die Kränze der Scheiben waren unrund und mit Absätzen versehen, so dass die im Betriebe vorkommenden Stösse, namentlich auch die Seitenstösse, nachgeahmt wurden. Die Konstruktionszeichnung ist in der Quelle angegeben.

332. Kürzlich sind in der Versuchsansalt zu Charlottenburg Dauerversuche eingeleitet worden, welche bezwecken, die Arbeitsfestigkeit von Gefässen [Kohlensäureflaschen] mittelst Wasserdruck festzustellen. Bei diesen Versuchen werden Flaschen gleicher Fertigung aus ganz dem gleichen Material unter verschiedenen hohen Anspannungen dem oft wiederholten Wasserdruck ausgesetzt, um diejenige Anspannung aufzufinden, die bei sehr grosser Zahl von Wiederholungen den Bruch nicht mehr herbeiführt. Die Versuche sollen zugleich auch Aufklärung darüber bringen, ob die jetzt vorgeschriebene Wiederholung der amtlichen Druckprobe Gefahr oder Nutzen bringt (*L 185*).

Ganz ähnliche Versuche in noch grösserem Umfange mit Rohrleitungen unter den den hohen Dampfdrucken entsprechenden Hitzegraden sind geplant.

6. Brucherscheinungen beim Dauerversuch.

333. Wie schon im Absatz *324* erwiesen, tritt der Bruch bei den Dauerversuchen bei einer viel geringeren Anspannung ein, wenn der Stab scharfe Ansätze hat, als wenn er mit Hohlkehlen versehen ist. Es ist aber eine bei den Dauerversuchen allgemein gemachte Erfahrung, dass die Stäbe für Dauerversuche ausserordentlich sauber bearbeitet, ja womöglich polirt sein müssen, wenn nicht irgend eine ganz geringfügig erscheinende Ursache den frühzeitigen Bruch herbeiführen soll. Während beim gewöhnlichen Zugversuch selbst Marken, die rings um den Stab eingerissen sind, sehr selten Anlass zum Bruch an diesen Stellen sind, muss man die Marken zum Ausmessen der Längendehnungen bei Zug-Dauerversuchen sehr vorsichtig anbringen, wenn der Bruch nicht durch sie beschleunigt werden soll. Deswegen werden diese Marken in der Charlottenburger Anstalt meistens als sehr feine Kreuze ausgeführt, deren Schenkel unter 45° gegen die Stabaxe geneigt sind.

Findet der Bruch im Querschnitt statt, der die Marken trägt, so wird man immer finden, dass die Bruchlinien von diesen winzigen Fehlstellen ausstrahlen, ein Zeichen, dass diese Stellen in der That den Anlass zum Bruch gaben.

Die Bruchformen und Brucherscheinungen bei Dauerversuchen sind ausserordentlich charakteristisch, so dass man in den allermeisten Fällen mit Sicherheit sagen kann, ob ein vorgelegter Bruch durch plötzliche grosse Ueberanstrengung des Materiales entstanden ist, oder ob viele oft wiederholte kleine Ueberanstrengungen den Bruch herbeiführten. Verschiedene durch den Dauerversuch erzielte Bruchformen sind auf Tafel 2, Fig. 20—23 und 25 abgebildet. Die charakteristischen Eigenschaften sind in Folgendem zu besprechen.