

ZEITSCHRIFT FÜR METALLKUNDE

Herausgegeben von der Deutschen Gesellschaft für Metallkunde im Verein deutscher Ingenieure
Schriftleitung: Prof. Dr. W. Guertler u. Dipl.-Ing. H. Groeck. — V.D.I.-Verlag GmbH, Berlin NW7, Dorotheenstr. 40

20. Jahrgang

Februar 1928

Heft 2

Fachheft „Dauerbruch“

Am 21. April 1927 veranstaltete die Deutsche Gesellschaft für Metallkunde eine „Dauerbruchtagung“, auf der durch Vorträge führender Fachleute ein Überblick über die bisherigen Erfahrungen und Forschungsergebnisse geboten und in Verbindung mit einem Meinungsaustausch Anregungen für die weitere Behandlung der Frage gegeben werden sollten. Der Einladung zu der Tagung sind Vertreter der Eisen- und Metallkunde, der Werkstoffprüfung, der herstellenden, verarbeitenden und verbrauchenden Industrie, des Maschinenbaues, der Elektrotechnik, der Eisenbahnen, des Schiffbaues und des Gewerbes zahlreich gefolgt. Die Verhandlungen sind im vorliegenden Heft wiedergegeben und durch einige Beiträge von Fachleuten, die der Tagung nicht beiwohnen konnten, ergänzt worden. — Das Reichskuratorium für Wirtschaftlichkeit hat in Anerkennung der wirtschaftlichen Bedeutung der zu behandelnden Frage Geldmittel für die Tagung gewährt, sodaß das Heft in größerer Auflage gedruckt werden konnte. Es wird zu einem ermäßigten Preise von 2 M an jedermann abgegeben.

Eröffnungsansprache

Allgemeines zur Frage des Dauerbruches

Von J. Czochralski, Vorsitzendem der Deutschen Gesellschaft für Metallkunde

Die rege Beteiligung an unserer Tagung ist uns ein Zeichen der Anerkennung des Gedankens, daß es an der Zeit sei, in größerem Kreise über die wichtige Frage des Dauerbruches zu sprechen. Ich danke unseren Gästen und Mitgliedern für ihr Erscheinen.

Zweck unserer Tagung ist es, tiefer in das Wesen des Dauerbruches und der Ermüdungserscheinungen einzudringen. Ebenso wichtig ist aber die Schaffung der Querverbindung zwischen dem Konstrukteur, dem Maschinenbauer und dem Metallfachmann auf diesem Gebiete.

Ehe wir in die Verhandlungen eintreten, seien mir noch einige Ausführungen gestattet.

Dauerbruch und Ermüdungsbruch zählen zu den Begriffen, die den Maschineningenieur, den Konstrukteur und den Werkstofffachmann bei ihrer Erwähnung mit einem gewissen Unbehagen erfüllen. Die Gefährlichkeit liegt vor allem darin, daß diese Brüche durch keinerlei vorausgehende sichtbare Formänderung warnend angekündigt werden. Obwohl der Dauerbruch sich sehr allmählich vorbereitet, liegt doch in seiner äußeren Erscheinungsform stets etwas Plötzliches. Der Dauerbruch ist die Erscheinungsform einer auf lange Sicht vorbereiteten mechanischen Nagearbeit, die dann meist einen plötzlichen Abschluß findet. Zwischen dem Auftreten des ersten Anrisses und dem Restbruch können lange Zeiträume liegen. Beim Fortfall der die Überbean-

spruchung bewirkenden Kräfte kann eine Unterbrechung in der Ausbildung des Dauerbruches eintreten. Beim erneuten Wiederauftreten dieser Kräfte kann das Zerstörungswerk aber wieder fortgesetzt werden. Der an sich gefährdete Konstruktionsteil kann vielfach noch recht erhebliche Belastungswechsel aufnehmen, um alsdann rettungslos einer vollkommenen Zerstörung anheimzufallen. Im Wesen des Dauer- und Ermüdungsbruches liegt etwas kennzeichnend Schleichendes, wie dieses wohl sonst nur bei biologischen Vorgängen beobachtet werden kann.

In der Regel geht dem sog. Restbruch das Auftreten des ersten Anrisses voran. Zwischen beiden können unter Umständen sehr lange Zeiträume mit sehr vielen Belastungswechseln liegen. Die Beobachtung der ersten Anrisse kann im Betrieb als Diagnostikum überhaupt nicht herangezogen werden. Dies ist allenfalls nur bei sorgfältig durchgeführten Laboratoriumsversuchen möglich. Daher erklärt sich auch, warum der Dauer- oder Ermüdungsbruch zu den gefürchteten Erscheinungen jeder konstruktiven Ausgestaltung gerechnet wird.

Zweifellos geht aber dem Restbruch sowie den ersten Anrissen eine Veränderung des Materials voraus, deren Erfassung aber dem bisherigen Materialprüfungswesen sehr erhebliche Schwierigkeiten bereitet. Bestände die Möglichkeit, diese Veränderungen wäh-

rend des Betriebes rechtzeitig zu ermitteln, so würde man die Gefahr des Dauer- bzw. Ermüdungsbruches wesentlich vermindern können.

Man hat bei der Erforschung des Dauer- bzw. Ermüdungsbruches bis jetzt meist nur die metallischen Baustoffe einer gründlicheren Betrachtung unterzogen. Es muß aber gefragt werden: Sind es nur die metallischen Baustoffe allein, an denen die Erscheinung des Dauerbruches auftritt, oder kann man die gleichen Erscheinungen auch an andern Baustoffen beobachten? Es dürfte vielleicht nicht unbekannt sein, daß die Dauerfestigkeit des Holzes der der Metalle nicht immer nachsteht. Hier ist es aber die Zersplitterungsgefahr, die besonders gefürchtet wird, und zwar sowohl bei Bruchschäden als auch bei der leicht eintretenden Fortentwicklung des Bruches bei sich schnell bewegenden Teilen, wie Propellern, häufig schon durch ganz geringfügige Oberflächenverletzungen. Die Überlegenheit der metallischen Baustoffe ist aber gerade in dieser Hinsicht besonders augenfällig. Sie haben auch nicht den Nachteil der stofflichen Veränderlichkeit der organischen Faser und des organischen Gewebes. Wie liegen nun die Verhältnisse bei den Gesteinen und bei den steinernen Kunst-erzeugnissen? Im allgemeinen scheint ein wesentlicher Unterschied in der Ermüdbarkeit im Vergleich zu den metallischen Baustoffen zu bestehen. Beachtung verdient hier vielleicht das Glas, das infolge des homogenen Aufbaues für die Prüfung der Frage besonders geeignet erscheint. Versuche haben gezeigt¹⁾, daß die Dauerfestigkeit des Glases weitgehend gesteigert werden kann, wenn man dafür Sorge trägt, daß jedwede Verletzung des Stabes vermieden wird.

Vergleicht man nun das Bruchaussehen verschiedener durch Ermüdung zerstörter Baustoffe, so kann festgestellt werden, daß die charakteristische Bruchausbildung, die als Dauer- oder Ermüdungsbruch in der Regel bezeichnet wird, besonders bei den Metallen aufzutreten pflegt. Bei Gläsern und anderen homogenen Massen, wie Harz und dergleichen, wird diese Bruchform wohl kaum beobachtet. Dahingegen können bei Hölzern sehr deutliche Übergangsformen auftreten, die gelegentlich sogar als typische Dauerbruchformen bezeichnet werden können. Die Erscheinung hängt in sehr starkem Maße von der Faserstruktur des untersuchten Holzes ab.

Inwieweit die Kennzeichen des Dauerbruches (nämlich die Ausbildung von Kreiszonen, die an die Jahresringe des Holzes erinnern) zu seiner eindeutigen Vorausbestimmung verwendet werden können, darüber scheint noch keine völlige Einigkeit zu bestehen. Sicher können aber wohl drei Grundformen unterschieden werden, und zwar

1. der gewaltsame Bruch,
2. der statische Dauerbruch,
3. der Schwingungsbruch.

Die erste Art der Bruchausbildung, der gewaltsame Bruch, kann z. B. im Schraubstock durch eine oder wenige Hin- und Herbiegungen erzeugt werden. Er ist meist dadurch charakterisiert, daß in seiner Nähe das Material jeweils geringere oder stärkere Deformation aufweist, die sich bei mehr bildsamen Materialien auch auf die Bruchfaser erstrecken kann und die Bruchfaser gerichtet erscheinen läßt (faseriger, seidiger Bruch, der meist gerichtete Reflexion zeigt). Bei sehr spröden Materialien können diese Kennzeichen auch fehlen.

¹⁾ Dauerschlagfestigkeit und dynamische Elastizitätsgrenze. Von Dr.-Ing. G. Welter. Z.d.V.d.I., Bd. 70, (1926) S. 649 u. 773.

Der statische Dauerbruch zeigt meist keine Verformungsanzeichen, aber auch keine Kreiszonen. Er ist in der Regel etwas feiner und glatter als der an der gleichen Probe gewaltsam erzeugte Bruch, verläuft aber des öfteren in den Korngrenzen und ist dann je nach der Korngröße des Materials mehr oder weniger körnig. Vielfach kann der Bruchanfang an der Stärke der Oxydation der Bruchfläche noch festgestellt werden.

Die dritte Art der Bruchausbildung, der Schwingungsbruch, der durch Wechselbeanspruchung entsteht — ebenfalls meist ohne sichtbare Verformungsanzeichen — ist eben durch die Ausbildung von Zonenkreisen sehr spezifisch gekennzeichnet. Bei dieser Art von Dauerbrüchen wird man meist beobachten können, daß in den Gebieten, in denen die Zonenkreise nicht mehr auftreten, das Korn meist gröber erscheint als in den Zonenkreisen selbst. Dies hängt eben damit zusammen, daß bei dem plötzlichen Eintreten des Restbruches der Restquerschnitt gewaltsam beansprucht wird und dann die dieser Beanspruchung entsprechende Bruchausbildung zeigt. Die Zonenkreise können dem Fortschritt der Zerstörung entsprechend vollkommen oder teilweise ausgebildet sein. Auch spielt die Geometrie der Beanspruchung hierbei eine besondere Rolle, so daß man bestimmte Konfigurationen in der Zonenausbildung unterscheiden kann, die häufig auch auf die Art der Beanspruchung Rückschlüsse zu ziehen gestatten.

Liegt nun die Ermüdbarkeit an der hohen Beanspruchungsgrenze der Metalle oder aber spielen hierbei stoffliche Veränderungen eine besondere Rolle? Für die letztere Annahme scheinen allerdings einige Beobachtungen zu sprechen. Die Metalle sind fast ohne Ausnahme unter dem Einfluß plastischer Deformationen verfestigungsfähig; sie verändern hierbei in vielerlei Hinsicht ihre Eigenschaften. In der Regel wird aber eine solche Veränderung der Eigenschaften an den dauerermüdeten Materialien nicht beobachtet, jedenfalls nicht in dem Ausmaße, daß sich hieraus die erhöhte Ermüdbarkeit erklären ließe. Die Mechanik eines Dauerbruches ist nun wohl ein Vorgang ganz besonderer Natur. Ganz allgemein wird für die Ausbildung des Dauerbruches eine gewisse „Veranlagung“ vorausgesetzt. Über die Natur dieser „Veranlagung“ herrschen verschiedene Anschauungen. Theoretisch besonders interessant erscheint die Annahme einer Wechselbeziehung zwischen dem Gleitwiderstand und dem Reißwiderstand (Schubwiderstand und Kohäsion), wie sie von Ludwik vertreten wird. Nach dieser Auffassung würde das Wesen der Brüchigkeit auf einem im Verhältnis zum Gleitwiderstand zu geringen Reißwiderstand beruhen. Unter Zugrundelegung eines bestimmten Mechanismus der Verformung läßt sich hieraus eine vorerst vielleicht befriedigende Theorie des Dauerbruches ableiten, nämlich unter der Annahme, daß sich die Spannungen in den einzelnen Teilen des Querschnittes sehr verschieden auswirken können, wenn auch der Spannungsinhalt für die Einheit des Volumens bei der Dauerbeanspruchung der gleiche sein dürfte. Dies hängt damit zusammen, daß sich ein vielkristallines Gebilde eben nie ganz homogen verhalten kann. Es werden sich offenbar fächerartig angeordnete Flächen geringsten Widerstandes in seinem Rauminhalt vorfinden. Die „mangelnde Quasiisotropie“ ist zweifellos ein Faktor, der für die Ausbildung des Dauerbruches von vornherein theoretisch bedeutungsvoll erscheint, was indes aber noch durch Versuche zu begründen wäre.

Würde der Konstrukteur ein Mittel an der Hand haben, den Ermüdungsbruch rechtzeitig zu erkennen, so wäre er auch in der Lage, besonders gefährdete Teile festzustellen und auszuwechseln. Dies ist aber leider heute noch nicht möglich. Die Feststellung des ersten Anrisses ist im Betrieb meist undurchführbar. Die Frage, die sich dahingegen insbesondere der Technologe vorlegen muß, ist: Wie muß man die Werkstoffe behandeln, um sie dauer- und ermüdungsfest zu machen? Eine glatte Antwort kann auch hier nicht gegeben werden, solange wir eben die Ursachen des Dauer- und Ermüdungsbruches nicht genau kennen. Die Gleichmäßigkeit des Materials wird zweifellos eine Gewähr für günstiges Verhalten geben. Der Werkstoff soll also tunlichst quasiisotrop sein, also keinerlei Anzeichen der Anisotropie, nicht einmal statischer Anisotropie aufweisen; mit anderen Worten: keinerlei mechanische oder kristallographische Bevorzugung in seinen Achsenrichtungen zeigen. Als eine Quelle mangelnder Quasiisotropie ist die Transkristallisation anzusehen, die sowohl vom Guß, ebenso aber auch von der Rekristallisation herrühren kann. Eine weitere Frage ist die, ob hartgezogene, also verfestigte Baustoffe ermüdungsfester sind als die weichgeglühten. Schlechthin wäre man geneigt, die weichgeglühten Metalle als weniger ermüdungsfest zu bezeichnen. Dies dürfte aber nur dann zutreffen, wenn die Dauerbeanspruchungen zuverlässig die Elastizitätsgrenze nicht überschreiten würden. Bei weitgehender Überschreitung der Elastizitätsgrenze ist wiederholt Gegenteiliges beobachtet worden. Bündige, zahlenmäßige Angaben, die der Konstrukteur heute mit Recht verlangt, können daher noch nicht gegeben werden. Was darüber vorliegt, ist in der Literatur zerstreut, widerspruchsvoll und schwer zugänglich.

So ist es nur zu verständlich, daß der Materialprüfungstechniker alles vom Konstrukteur und umgekehrt der Konstrukteur alles vom Materialprüfungstechniker in der Bekämpfung des Dauerbruches verlangt. Beide müssen aber in gemeinsamer Arbeit dieses schwierige Gebiet erobern. Die Forderung,

die der Materialprüfungstechniker an den Konstrukteur stellen muß, ist: Kenntnis der Deformationsbeanspruchungen, denn es ist nicht gleichgültig, ob diese Beanspruchungen klein oder groß sind. Je nach der Größe dieser Beanspruchungen wird der Materialprüfungstechniker an Hand von Versuchen zu entscheiden haben, welchem Material der Vorzug zu geben ist. Liegen die Beanspruchungen mit Sicherheit unterhalb der Elastizitätsgrenze, so wird ein Material mit geringer innerer Zähigkeit und hoher Elastizitätsgrenze am Platze sein. Treten aber weitgehende überelastische Beanspruchungen auf (und dies ist häufiger der Fall, als man annehmen dürfte) so wird ein Material mit größerer innerer Zähigkeit und niedrigerer Elastizitätsgrenze oft das überlegenere sein. Ein solches Konstruktionselement wird keineswegs als völlig dauerfest anzusprechen sein; es wird aber häufig den Anforderungen der Praxis noch eben genügen, während das Material mit der hohen Elastizitätsgrenze unter Umständen schon längst den Dienst versagt haben wird.

Und wie steht es mit der Schuldfrage? Die Tatsache, daß ein Dauerbruch vorliegt, bildet kein Kriterium für die Entscheidung dieser Frage, da es heute noch kein eindeutiges Mittel zur Feststellung des Ermüdungsbruches gibt. Es sei denn, daß es in Einzelfällen gelingen sollte, Materialveränderungen bzw. das Vorhandensein von inneren Spannungen in beweiskräftigem Maße festzustellen²⁾. Ich glaube klar genug zum Ausdruck gebracht zu haben, daß die Mißhelligkeiten und Mißdeutigkeiten zwischen Konstrukteur und Materialprüfungstechniker schwinden müßten. Wir streben auf verschiedenen Wegen demselben Ziele zu und dieses Ziel heißt „Erkenntnis der stofflichen und mechanischen Zusammenhänge“.

Wir gehen damit zu dem sachlichen Teil über, und ich erteile Herrn Professor Dr. Hort das Wort zu seinen Ausführungen. [RS 360a]

²⁾ J. Czochralski, Welche Veränderung erleiden die mechanischen Eigenschaften durch Ermüdung? Siehe dieses Heft, S. 58.