

Deutsche Gesellschaft für Metallkunde.

Fachtagung „Dauerbruch“.

Berlin, 21. April 1927.

Vorsitzender Obering, Czochralski, Frankfurt a. M.

Der Vorsitzende, Obering, Czochralski, Frankfurt a. M., geht auf den Zweck der Tagung ein. Bisher steht der Ingenieur ziemlich machtlos den durch Dauerbeanspruchung auftretenden Zerstörungen der Metalle gegenüber. Man hat sich die Frage vorzulegen, ob nur die Metalle allein oder auch andere Baustoffe an den Ermüdungserscheinungen zugrunde gehen können, ob bei Glas und Holz als Konstruktionsmaterial auch Ermüdungserscheinungen beobachtet worden sind. Die Zerstörungserscheinungen durch Ermüdung nehmen bei den Metallen eine besondere Stellung ein, sie sind so ausgeprägt, wie sie bei keinem anderen Baustoff zu beobachten sind. Man muß daher die Frage stellen, ob es in der Hochwertigkeit der metallischen Baustoffe liegt, daß sie an und für sich weitgehend beansprucht werden. Die Elastizität, die Fließgrenze, die Festigkeit und Dehnung erleiden durch die Beanspruchung weitgehende Veränderungen, und man könnte denken, daß dadurch der Dauerbruch vorbereitet wird, aber an den dauernd ermüdeten Materialien waren solche Veränderungen nicht festzustellen. Czochralski glaubt, daß ein Teil der Dauerbrucherscheinungen auf Konto der Verfestigung zu setzen ist, und daß die Ermüdbarkeit sich insbesondere bei den Stoffen bemerkbar machen wird, die eine Verfestigung erleiden, d. h. die ihre physikalischen Eigenschaften während der Beanspruchung verändern oder verändern können. Die Metalle nehmen unter den Baustoffen in bezug auf die Ermüdbarkeit und Ermüdungsfestigkeit eine besondere Rolle ein. Die Mechanik des Dauerbruchs ist eine besondere. Die Anschauungen gehen allgemein dahin, daß man eine gewisse Prädisposition voraussetzt, die den Dauerbruch vorbereitet. Diese Prädisposition kann sehr verschiedener Natur sein. Man kann drei Arten der Bruchausbildung beobachten: erstens den gewaltigen Bruch, wie er bei zu hoher Beanspruchung des Materials auftritt; zweitens den durch statische Beanspruchung erzeugten Dauerbruch, bei dem Konstruktionsteile, die keinem Wechsel ausgesetzt sind, durch die Dauer der Zeit zugrunde gehen, und zwar reißen die Stücke ohne vorhergehende Voranzeige. Die dritte Art der Brucherscheinungen ist der Bruch durch Wechselbeanspruchung. Man kann innerhalb des Dauerbruchbereichs einen besonders feinkörnigen Bruch beobachten; außerhalb des Dauerbruchbereichs ist das Korn größer. Würde der Konstrukteur in der Lage sein, während des Betriebs die Veränderungen im Material rechtzeitig zu erkennen, so würde die Gefahr der Dauer- bzw. Ermüdungsbrüche wesentlich verringert werden können, denn es könnten dann die gefährdeten Teile rechtzeitig ausgewechselt werden. Auf die Frage, wie die Werkstoffe zu behandeln sind, um sie genügend ermüdungsfest zu machen, kann man noch keine Antwort geben, solange man nicht die Ursachen der Dauer- und Ermüdungsbrüche genau kennt, kann man keine Mittel zu ihrer Beseitigung angeben, es dürfte die Quasiisotropie, d. h. die Gleichmäßigkeit des Materials in den verschiedenen Achsenrichtungen eine Grundlage der Ermüdungsfestigkeit sein. Bei Materialien, bei denen die Gleichmäßigkeit nicht gewährleistet ist, ist eine Neigung zum Dauerbruch zu erwarten. Es ist also möglichste Gleichmäßigkeit des Materials zu fordern. Die Quasiisotropie fällt zusammen mit der statischen Anisotropie, d. h. der kristallographischen Bevorzugung des Materials in irgendeiner Achsenrichtung. Liegt statische Anisotropie vor, dann ist Auftreten eines Dauerbruchs zu erwarten. Für den Konstrukteur ist die Wahl des geeigneten Materials sehr wichtig; allgemein müßte man dem Konstrukteur sagen, es sind die Konstruktionssteile konstantengemäß zu bemessen. Aber diese Konstanten liegen noch nicht vor.

Prof. Dr. W. Hort, Berlin: „Ermüdungserscheinungen als schwingungstechnische Phänomene“.

Die Dauerbrüche an metallischen, insbesondere an eisernen Maschinenteilen traten um die Mitte des 19. Jahrhunderts besonders im Eisenbahnbetrieb an Wagen- und Lokomotivachsen auf. Von hier rührte der Anlaß zu den bekannten Wöhlerschen Versuchen her, etwa um 1860, die den Zweck hatten, für die Konstruktion der Fahrzeugachsen die not-

wendigen Grundlagen zu schaffen. Bei diesen Versuchen ergab sich u. a. das sogenannte Wöhlersche Gesetz: „Der Bruch des Materials läßt sich nicht nur durch eine die absolute Festigkeit überschreitende, ruhende Belastung, sondern auch durch vielfach wiederholte Schwingungen, von denen keine die absolute Bruchgrenze erreicht, herbeiführen. Die Differenzen der Spannungen, welche die Schwingungen eingrenzen, sind dabei für die Zerstörung des Zusammenhangs maßgebend. Die absolute Größe der Grenzspannungen ist nur insoweit von Einfluß, als mit wachsender Spannung die Differenzen, die den Bruch herbeiführen, sich verringern.“ Wöhler hat auch schon die Wirkung von Einkerbungen und starken Erschütterungen untersucht und gefunden, daß diese die Dauerfestigkeit erheblich herabsetzen. Demnach sind bei Wöhler bereits alle Elemente des Beanspruchungsproblems im Maschinenbau gegeben. Vortr. erläuterte an der Hand eines Schaubildes die Sachlage.

Prof. Dr. Körber, Düsseldorf: „Ermittlung der Dauerfestigkeit von Stahl bei erhöhten Temperaturen.“

In letzter Zeit ist die Temperaturgrenze, innerhalb welcher die metallischen Stoffe arbeiten müssen, sehr erweitert worden. In den Höchstdruckdampfkesseln, in den Gasturbinen, in der chemischen Industrie werden die Metalle außer bei hohen Drücken auch bei höheren Betriebstemperaturen beansprucht. Während bei der mechanischen Prüfung von Stahl bei Raumtemperatur der Versuchsgeschwindigkeit nur eine untergeordnete Bedeutung zukommt, ist deren Einfluß auf die bei höheren Temperaturen gemessenen Werte von so einschneidender Bedeutung, daß die im normalen Warmzerreibversuch gewonnenen Festigkeitszahlen dem Ingenieur nicht als Unterlage seiner Berechnungen für bei höheren Temperaturen arbeitende Maschinenteile und Konstruktionen dienen können. Völlig wertlos werden sie als Gütemaßstab für die Fähigkeit des Stahles, bei diesen Wärmegraden langandauernde Belastung zu tragen. Es sind eine Reihe von Verfahren zur Ermittlung der Grenzbelastungen entwickelt worden, man hat für die Grenzbelastungen verschiedene Bezeichnungen gewählt, so Kriechgrenze, Viscositätsgrenze usw. Vortr. hat dafür nun den Begriff Dauerstandfestigkeit in Vorschlag gebracht, und der Werkstoffausschuß des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute hat sich dieser Ausdrucksweise angeschlossen. Im Rahmen einer Untersuchung über Kesselbaustoffe, die im Kaiser-Wilhelm-Institut für Eisenforschung in Düsseldorf durchgeführt wurde, hat Vortr. gemeinsam mit Dr. Pomp und Dahmen eine Apparatur ausgearbeitet, die es gestattet, den zeitlichen Ablauf der Formänderungen von Probestäben, die Dauerbelastungen ausgesetzt wurden, zu verfolgen. Es werden die Ergebnisse der Versuche, die sich über mehrere 100 Stunden erstreckten, an weichem Stahl, Kupfer und Zink, mitgeteilt. Aus ihnen ist die Bedeutung der Kaltverfestigung und der Kristallerholung bzw. der Rekristallisation mit aller Deutlichkeit zu erkennen. Für die laufende Werkstoffprüfung kommen infolge der sich über sehr lange Zeiten erstreckenden Beobachtung des Dehnungsverlaufs diese Untersuchungen nicht in Frage, es war dringende Notwendigkeit, für die Praxis ein abgekürztes Verfahren zu finden zur Bestimmung der Dauerstandfestigkeit als Grenzbelastung, der der Werkstoff im Dauerversuch ausgesetzt werden kann, ohne zu Bruch zu gehen. Die Ermittlung der Dauerstandfestigkeit ist für die Beurteilung des Verhaltens des Stahls bei Dauerbeanspruchung bei hoher Temperatur von Bedeutung.

Dr.-Ing. G. Welter, Frankfurt a. M.: „Ermüdung durch kritische statische Dauerbelastung“.

Außer der Temperatur spielt bei den meisten technischen Vorgängen noch die Zeit, während der die Materialien beansprucht werden, eine wesentliche Rolle. Aus früher bekanntgegebenen Versuchsergebnissen ist die Abhängigkeit der meisten Konstruktionsmaterialien von diesem Faktor nachgewiesen worden. Hierbei wurde die überraschende Tatsache festgestellt, daß Baustoffe wie Messing, Aluminium, Kupfer und dergl. nicht nur an der Bruchgrenze bereits nach kurzer Zeit versagen, sondern, daß selbst an der Streckgrenze mit 0,2% bleibender Dehnung nach längerer Belastungszeit noch Bruchgefahr auftreten kann. Eine Aufklärung über die Ursache derartiger Dauerbrüche konnte in keinem Fall gegeben werden. Zur Ergänzung und Erweiterung dieser für die Praxis wichtigen

Feststellungen wurden statische Dauerzugversuche durchgeführt. In erster Linie ist die Deformation der Materialien, die der Dauerbelastung ausgesetzt sind, von Interesse. Zur Feststellung der Mikrolängenveränderungen an der kritischen Belastungsgrenze wurde eine Reihe von Materialien mit Feinmeßgeräten unter Dauerlast gestellt. Es wurde Kupfer, Eisen, Aluminium, eine Aluminiumlegierung, sowie eine Magnesiumlegierung untersucht. Als kritische Grenzwerte wurden die Streckgrenze mit 0,2% bleibender Dehnung und die Elastizitätsgrenze mit 0,001% bleibender Dehnung gewählt. Die Längenänderungen dieser Materialien wurden im Laufe der Zeit unter dem Einfluß der Dauerlast verfolgt. An Hand von Schaubildern über den Grundgedanken und Aufbau der Versuchsstände werden die Ergebnisse dieser kritischen Dauerbelastungen, die unter bestimmten Umständen den Dauerbruch herbeiführen können, mitgeteilt. Die Ergebnisse erstrecken sich über die Gesamtdauer eines Jahres und sind in drei Zeitabschnitten ermittelt worden. Es ergibt sich, daß das Gebiet der plastischen Deformationen der Baustoffe unter Dauerlast wesentlich größer ist, als bisher aus den einfachen Zugversuchen geschlossen werden konnte. Eine Beanspruchung, bei der keine Deformationen mehr im Laufe der Zeit an den Materialien zu befürchten sind, fällt mit der Elastizitätsgrenze bei der statischen Messung zusammen. Oberhalb dieser Grenze treten „schleichende Deformationen“ (Dauerbruch) auf, die bei einer Belastung in der Nähe der Streckgrenze bereits eine Zerstörung des Materials hervorrufen können. Das aus den drei Faktoren Zeit, Temperatur und Belastung aufgestellte Raumschaubild soll zur Erkenntnis der zulässigen, für den Konstrukteur maßgebenden Belastungen unter Dauerlast beitragen.

Obering. J. Czochalski, Frankfurt a. M.: „Welche Veränderungen erleiden die mechanischen Eigenschaften durch Ermüdung?“

Obwohl der Dauerbruch sich sehr allmählich vorbereitet, so liegt doch in seiner äußeren Erscheinungsform stets etwas Plötzliches. Zwischen dem Auftreten des ersten Anrisses und dem Restbruch können lange Zeiträume liegen. Beim Fortfall der die Überbeanspruchung bewirkenden Kräfte kann das Zerstörungswerk aber wieder fortgesetzt werden. Der an sich gefährdete Konstruktionsteil kann vielfach noch recht erhebliche Belastungswechsel aufnehmen, um alsdannrettungslos einer vollkommenen Zerstörung anheimzufallen. Die Beobachtung der ersten Anrisse kann im Betrieb als Diagnostikum überhaupt nicht herangezogen werden. Zweifellos geht aber dem Restbruch sowie den ersten Anrisse eine Veränderung des Materials voraus, deren Erfassung aber dem bisherigen Materialprüfungsweisen sehr erhebliche Schwierigkeiten bereitete. Besteände die Möglichkeit, diese Veränderungen während des Betriebes rechtzeitig zu ermitteln, so würde man die Gefahr des Dauer- bzw. Ermüdungsbruches wesentlich vermindern können. Theoretisch besonders interessant erscheint in ihrem Zusammenhang mit dem Dauerbruch 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 jeder Brüchigkeit auf einem im Verhältnis zum Gleitwiderstand zu geringen Reißwiderstand beruhen. Aber auch diese Erklärung genügt wohl noch nicht vollauf, um die wechselseitigen Erscheinungen des Dauer- bzw. Ermüdungsbruches restlos aufzuklären, denn oftmals kann beobachtet werden, daß bei gleichem Gleitwiderstand (Schubwiderstand, Verformungswiderstand) und gleichem Reißwiderstand (Kohäsion, Treunungswiderstand) ein und dasselbe Material doch recht verschiedene Dauerfestigkeiten aufweisen kann. Es scheint indes, daß unter Zugrundelegung eines bestimmten Mechanismus der Verformung diese Widersprüche beseitigt werden können. Wenn auch der Spannungsinhalt für die Volumeinheit bei einer homogenen Dauerbeanspruchung der gleiche sein dürfte, so werden sich diese Spannungen in den einzelnen Teilen des Querschnittes doch sehr verschieden auswirken können. Dies hängt damit zusammen, daß ein vielkristallines Gebilde sich eben nie ganz homogen verhalten kann. Bei jeder Beanspruchungsart werden sich im Querschnitt Flächen äquimimaler Festigkeit vorfinden. Auf diesen „Äquimimalen“ bevorzugter Beanspruchung wird sich in allerster Linie das Dauerwerk der Zerstörung abspielen.

Überschreitet die Beanspruchung an den „Äquimimalen“ eine gewisse Grenze, so führt dies zur Ausbildung einer örtlichen Materialtrennung. Die Voraussetzungen für die Ausbildung dieser Flächen sind durch die Zufälligkeit der kristallographischen Orientierung gegeben. Betrachtet man nun einen der Dauerbeanspruchung ausgesetzten Stab, so wird die Verfestigung besonders an den „Äquimimalen“ eingesetzt. Wird die Beanspruchung nicht bis zum Bruch getrieben, sondern der Stab dem üblichen Zerreißversuch unterworfen, so wird er in der Regel noch sehr erhebliche Dehnungswerte aufweisen, da jetzt infolge des Wechsels des Kraftangriffs das Fließen im wesentlichen in den unbeanspruchten Teilen des Querschnitts sich vollziehen kann. Die Äquimimalen werden für jeden Kraftangriff einen ganz verschiedenen Verlauf haben und sich unter Umständen an ganz verschiedenen Orten des Querschnittes entwickeln können. Nur bei gleichbleibendem Kraftangriff dürfte die Erschöpfung der Plastizität in ihrer gesetzmäßigen Steigerung erfassbar sein. Beim Fortsetzen der Dauerprüfung würde dagegen der gleiche Stab (nach sehr weitgetriebener Vorbeanspruchung) ohne merkliche Dehnung zerstört werden können. Die gegebene Erklärung wird an Hand eigenartiger Zerklüftungerscheinungen bei der Dauerbeanspruchung auch experimentell gestützt. In diesem Sinne dürften wohl auch die Ätzerscheinungen, die Fry an Dauerbruchproben feststellen konnte, zu deuten sein.

Dr.-Ing. G. Sachs, Berlin-Dahlem: „Elastizität, statische Versuche und Dauerprüfung.“

Eine wichtige Frage des Dauerbruchproblems ist die nach der Verknüpfung der Dauerfestigkeit mit den Ergebnissen statischer Versuche, da das Bestreben besteht, die umständliche Dauerprüfung durch eine abgekürzte Probe zu ersetzen, und in den Erscheinungen bei langsam wirkenden Beanspruchungen nach den Ursachen der Ermüdung gesucht wird. Vortr. verweist auf die Arbeiten von Ludwik und Gough. Gemeinsam mit Dr. Kuntze und Siegelschmidt hat der Vortr. im Staatlichen Materialprüfungsamt in Berlin-Dahlem Versuche an Kupfer ausgeführt, welche zeigen, daß in der Regel weder in geglättetem noch in kaltverformtem Zustand eine reine Elastizität nachweisbar ist. Im Falle des Glühens setzen frühzeitig bleibende Verformungen ein, und im Falle der Kaltverformung ist stets Hysterese vorhanden. Auch wird der in üblicher Weise bestimmte Elastizitätsmodul durch Dehnen in der Prüfmaschine stark herabgedrückt, durch Tempern erhöht. Diese Erscheinungen weisen auf die Anwesenheit innerer Spannungen hin, die die elastischen Vorgänge falschen. Die Hysteresisvorgänge reichen aber nach den bisherigen Erfahrungen offenbar nicht aus, um einen Stoff zu Bruch zu bringen. Die Versuche zeigen nun weiterhin, daß schon weit unterhalb der durch Verformung erhöhten Streckgrenze außer der Hysterese auch sonstige bleibende Verformungen auftreten. Der Übergang in diesen Zustand ist ziemlich unvermittelt, so daß die Möglichkeit besteht, an Stelle der üblichen Elastizitätsgrenze einen anderen ausgezeichneten Wert zu setzen. Die Praxis fordert jedoch nicht nur eine hohe Dauerfestigkeit, sondern auch eine Sicherheit gegen etwaige Überbelastungen oder Fehler. Der betreffende Werkstoff muß also in der Lage sein, gewisse Überbeanspruchungen einige Zeit aufzunehmen. Für die Gütebeurteilung des Stoffes ist also die Dauerfestigkeit allein nicht ausreichend. Ein wichtiger Belastungsfall ist z. B. der von Drahtseilen, die auf Biegung mit zusätzlichem Zug beansprucht werden. Versuche von Siegelschmidt an Drähten zeigen nun, daß bei Biegungen um kleine Krümmungshalbmesser wesentlich das Formänderungsvermögen, beim Biegen um große Krümmungshalbmesser der Verformungswiderstand die Zahl der ertragenen Biegungen bestimmt. Beim technologischen Biegeversuch besteht eine einfache Beziehung zwischen der Biegezahl und der Bruchquerschnittsverminderung, aber keine Beziehung zwischen Biegezahl und Festigkeit, beim neuen Biegerollenversuch steht die Biegezahl in deutlicher Beziehung zur Festigkeit, also zum Verformungswiderstand des Materials. Zur Dehnung ist in keinem Fall eine Beziehung nachweisbar. Durch Änderung des Krümmungshalbmessers hat man es also in der Hand, den Charakter der Probe willkürlich zu ändern und damit auch den Verhältnissen in der Praxis anzupassen. Dies ist die eigentliche Bedeutung abgekürzter Dauerproben.

Dr.-Ing. E. Schmid, Frankfurt a. M.: „Ermüdung vom Standpunkt der Vorgänge am Einkristall.“

Der Umstand, daß jedem Dauerbruch plastische Deformation vorausgeht (die durch das Auftreten von Gleitlinien in einzelnen Kristallen erkennbar ist), zwingt dazu, die Ermüdung am isolierten Einzelkorn selbst zu studieren. Vortr. verweist auf die Arbeiten von H. J. Gough, S. J. Wright und D. Hanson, die Aluminiumkristalle einem Zug-Druckversuch unterwiesen und hierbei den Nachweis erbrachten, daß der Mechanismus der plastischen Dehnung dieser Kristalle beim Ermüdungsversuch (Zug, Druck, Verdrillung) derselbe ist wie beim statischen Zugversuch, wie er von Taylor und Elam durchgeführt wurde. Ebenso wie bei diesem verfestigen sich auch beim Ermüdungsversuch die Gleitflächen mit der Abgleitung. Sodann bespricht Vortr. Ermüdungsversuche an Zinkkristallen (Verdrillung und Rückdrillung um konstante Winkelbeträge), welche zeigen, daß auch hier das bei statischer Dehnung wirksame Hauptgleitsystem erhalten bleibt. Aufnahme von Dehnungskurven nach verschiedenen Torsionszahlen zeigt die sehr erhebliche Verfestigung der Basisfläche durch Dauerbeanspruchung. Der Anstieg der Schubfestigkeit erfolgt jedoch keineswegs proportional den Torsionszahlen; die Wirkung einer gleichen Zahl von Wechselbeanspruchungen wird mit zunehmender Gesamt-torsionszahl immer geringer. Schließlich scheint sogar wieder eine leichte Schubentfestigung zu erfolgen. Die Dehnbarkeit im statischen Zugversuch ist (bei kleinem Verdrillungswinkel) bis zu hohen Wechselzahlen wenig beeinflußt. Bei ruckartiger Belastung jedoch tritt nach Überschreitung gewisser Torsionszahlen Spaltung nach der Basis ohne vorhergehende Dehnung ein. Das für die Brüchigkeit von Zinkkristallen maßgebende Verhältnis von kritischer Schubspannung zu kritischer Normalspannung wird, wie die vorliegenden Versuche zeigen, durch die Dauerbeanspruchung beträchtlich erhöht. Es wurden Versuche durchgeführt, um festzustellen, ob ermüdete Kristalle sowie die statisch beanspruchten Kristalle die Eigenschaft der Erholung zeigen können. In der Tat wurde auch nach Dauerbeanspruchung ebenso wie bei den durch statische Beanspruchung verfestigten Kristallen durch eingeschaltete Ruhepausen Erholung beobachtet.

Dr.-Ing. Ernst Lehr, Darmstadt: „Oberflächen-Empfindlichkeit und innere Arbeitsaufnahme der Werkstoffe bei Schwingungsbeanspruchung.“

Bisher erblickte die dynamische Materialprüfung im wesentlichen ihre Aufgabe darin, die Dauerfestigkeit (Ermüdungsgrenze) des zu prüfenden Werkstoffes festzustellen. Bei den Untersuchungen mußten, damit sich vergleichbare Ergebnisse erreichen ließen, gewisse, idealisierte Versuchsbedingungen vereinbart werden. Für die praktische Auswertung der Versuchsergebnisse ist die Frage entscheidend, inwieweit man sich dem unter idealen Versuchsbedingungen gewonnenen Wert der Dauerfestigkeit nähern kann, ohne daß auch bei angestrengtestem Betrieb Bruchgefahr besteht. Bei der Wahl des Sicherheits-Koeffizienten spielt die Oberflächenbeschaffenheit der Konstruktionsteile eine ausschlaggebende Rolle. Es werden sich niemals Verletzungen der Oberfläche ganz vermeiden lassen. Allgemein ist die Ansicht verbreitet, daß die geringfügigste Ritzung (etwa mittels Reißnadel) bereits den Dauerbruch bei Beanspruchung herbeiführt, die wesentlich unterhalb der Ermüdungsgrenze liegt. Vortr. hat eine Arbeit in Angriff genommen, die sich zum Ziel setzt, die vorliegende Frage systematisch zu erforschen. Die Aufgabe besteht im einzelnen darin, festzustellen, wieviel Prozent die Dauerfestigkeit, die man bei geschliffener Prüfstaboberfläche erzielt, unterschritten wird, wenn der Prüfstab eine ein für allemal gleichbleibende Oberflächenverletzung erhält. Es wurde vorläufig festgelegt, daß zu diesem Zweck in den Prüfstabschaft ein spitzes Gewinde von 0,2 mm Tiefe und 1 mm Ganghöhe eingeschnitten wird. An etwa 150 Stählen, teils Kohlenstoffstählen, teils Federstählen und legierten Stählen, wurden Dauerversuche auf Biegebeanspruchung durchgeführt. An den rotierenden, auf Biegung beanspruchten Prüfstäben ergab sich ein sehr verschiedenes Verhalten der einzelnen Werkstoffe. Während bei geglätteten Kohlenstoffstählen nur ein ganz unwesentlicher Rückgang der Ermüdungsgrenze bemerkt wurde, belief sich dieser bei gehärteten Federstählen auf 40% und mehr. Die

als Ermüdungsgrenze bei verletzter Oberfläche gefundene Grenzbeanspruchung dürfte sich als Grundlage für die praktisch zulässige Beanspruchung wesentlich besser eignen als der bei geschliffener Oberfläche gefundene Wert. Jedenfalls ergibt sich bei der vorgeschlagenen Versuchsdurchführung eine wesentlich andere Rangordnung der Werkstoffe. Die Stichhaltigkeit der hier vertretenen Ansicht muß allerdings durch technologische Ermüdungsproben am fertigen Konstruktionsteil geprüft werden. Die innere Ursache des verschiedenen Verhaltens der Werkstoffe dürfte sich auf kristallographischen Wege klären lassen.

Berliner Bezirksverein Deutscher Ingenieure.

Berlin, 16. Juni 1927.

Vorsitzender: F. Dopp, Berlin.

Prof. Dr.-Ing. W. König: „Kleinkältemaschinen“.

Man verbindet mit dem Begriff der Kältemaschinen meist die Erzeugung großer Kältemengen, wie sie für Schlachthäuser und Kühlhäuser erforderlich sind. Eine der größten derartigen Maschinen ist die Kältemaschine der Firma Sulzer mit 4000 Millionen Calorien Leistung in einer Einheit. Für den Haushalt kommen nur die Kleinkältemaschinen in Betracht, die aber auch für Molkereien, Konditoreien, Gastwirtschaften, Schlächtereien und Krankenhäuser von Bedeutung sind, in letzter Zeit auch für Eisenbahnwagen eingeführt werden. Das Absatzgebiet der Kleinkältemaschinen ist entsprechend dieser vielseitigen Anwendung ein großes, obwohl sie in Deutschland noch nicht sehr eingeführt sind. Das Gebiet der Kleinkältemaschinen liegt bei einer Leistung von 100—300 Cal. in der Stunde. Für Haushaltszwecke sind Kälteleistungen von 600—1500 Cal. in 24 Stunden erforderlich, und es werden in der Hauptsache Kühlshränke für diese Leistung ausgeführt, mit einem Nutzinhalt von 0,1—0,2 cbm. Ein großer Teil der Wärme geht durch Wärmeübergang verloren, es ist daher eine gute Isolierung wichtig. In den Kühlshränken werden etwa 300—750 Cal. nutzbar verwendet, also etwa die Hälfte der Calorien, die die Kältemaschinen liefern, wobei die Schranktemperatur 4—7° über Null beträgt. Im allgemeinen sind die Kleinkältemaschinen so eingerichtet, daß auch kleine Mengen Eis hergestellt werden können. Höhere Kälteleistungen kommen für den Haushalt nicht in Frage, nur für Gewerbetreibende finden neben Kühlshränken auch Kühlzellen und Kühlräume Verwendung, außerdem in Molkereien Vorrichtungen für die Kühlung der Milch. In Konditoreien kommen auch Tieftemperaturvorrichtungen zur Erzeugung von Eiscreme zur Anwendung. —20° sind erforderlich für die Fabrikation, für die Aufbewahrung von Eiscreme genügen 12°.

Die Bedeutung der Kleinkältemaschinen für die Erhaltung der Lebensmittel kommt deutlich zutage, wenn man die Werte des Konsums im Deutschen Reich berücksichtigt. So betrug der Fleischkonsum im Deutschen Reich im Jahre 1913 auf den Kopf der Bevölkerung 52 kg, in den Kriegszeit ging er herab und hat sich dann wieder auf 47 kg erhöht. Das bedeutet bei einer 63-Millionen-Bevölkerung einen Gesamtkonsum von 3 Milliarden Kilogramm Fleisch im Jahr, der Wert dieses Fleischverbrauchs kann bei einem durchschnittlichen Fleischpreis von 1 M. je Kilogramm mit 3 Milliarden Mark eingesetzt werden. An Eiern wurden im Jahre 1926 2270 Millionen Stück eingeführt im Werte von rund 214 Millionen Mark. Rechnet man hierzu die Inlanderzeugung an Eiern, so kommt man auf Grund einer Hamburger Statistik auf einen Gesamtwert des Eierkonsums von 750 Millionen Mark. An Butter sind 1926 98 Millionen Kilogramm im Werte von 330 Millionen Mark eingeführt worden, der Wert der Einfuhr an Weich- und Hartkäse betrug 104 Millionen Mark. Der Gesamtkonsum an Butter und Käse betrug 225 Millionen Kilogramm im Werte von 1 Milliarde Mark. Der jährliche Milchkonsum in Deutschland hatte nach Angaben von Prof. Bongert von der Tierärztlichen Hochschule in Berlin vor dem Krieg einen Wert von 2,5 Milliarden Mark, heute hat er bei einem Durchschnittspreis von 20 Pf. je Liter einen Wert von 3,6 Milliarden Mark. Die Bedeutung dieser Werte kann man erkennen, wenn man die Werte der Kohlenförderung dem entgegenstellt. Die Kohlenförderung betrug im Jahre 1926 145 Millionen Tonnen Steinkohle und 135 Millionen Tonnen Braunkohle. Legt man für die Braunkohle den dritten Teil des Wertes der Steinkohle zugrunde, so ergibt sich der Gesamtwert der Kohlenförderung mit dem Wert von 192 Millionen