Zeitschrift: IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH Kongressbericht

Band: 2 (1936)

Artikel: Der Einfluss der Zähigkeit des Stahles auf die Stabilität der Stahlkonstruktionen

Autor: Aimond, F.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-2773

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 07.08.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

I 12

Der Einfluß der Zähigkeit des Stahles auf die Stabilität der Stahlkonstruktionen.

Rôle de la ductilité de l'acier dans la stabilité des constructions.

The Influence of Ductility of the Steel to the Stability of Structures.

F. Aimond,

Docteur ès sciences, Ingénieur des Ponts et Chaussées détaché au Ministére de l'Air, Paris.

Die Zähigkeit ist die Eigenschaft, auf Grund welcher ein Werkstoff nach Erreichung seiner Elastizitätsgrenze bedeutende Formänderungen erleiden kann. Beim Baustahl ändern die bedeutenden Formänderungen, die eintreten, wenn die Elastizitätsgrenze erreicht ist, das Gefüge des Metalls in mechanischer Hinsicht nicht erheblich. Dieser Bereich der Formänderung im Anschluß an den Elastizitätsbereich heißt Plastizitätsbereich.

Seit langem hat man bemerkt, daß die Stabilität der Stahlkonstruktionen auf das Vorhandensein kleiner Zonen im Zustand der plastischen Verformung zurückzuführen war, die sich an allen Stellen bilden, wo infolge der Größe der elastischen Formänderungen die Elastizitätsgrenze erreicht war, so daß schließlich die maximale Beanspruchung des Stoffes niedriger war als die mit den üblichen Methoden der Elastizität errechnete. Die Zähigkeit des Stahls hatte also, so schien es, die Wirkung, die Festigkeit der Konstruktionen zu erhöhen, indem sie die Zonen der größten elastischen Formänderungen beseitigte. Diese Eigenschaft, richtig verallgemeinert, wird heute „Anpassung" genannt.

Aber die Anpassung gilt nur für die ruhenden oder nur vereinzelt auftretenden Lasten, da die sich ständig wiederholenden Formänderungen des Werkstoffes zu einem baldigen Bruch führen. Die Anpassung ist nicht zu berücksichtigen, wenn es sich um die Festigkeit gegen wechselnde Belastungen handelt. Es ist sogar bekannt, daß gegenüber diesen Belastungen der Elastizitätsbereich noch zu groß ist, und daß jeder Werkstoff einen wirklichen inneren Elastizitätsbereich innerhalb des üblichen Elastizitätsbereiches aufweist, den man auch Dauerfestigkeitsbereich nennt.

Die Zähigkeit des Stahls spielt somit keine Rolle hinsichtlich der Stabilität bei wechselnden Beanspruchungen. Sie spielt dagegen vermöge der Anpassung eine wesentliche Rolle bei allem, was die Stabilität bei ruhenden oder praktisch ruhenden Belastungen anbelangt.

Die Zähigkeit des Stahls tritt auf Grund des Anpassungsgesetzes in allen jenen

Zonen einer Konstruktion auf, wo aus verschiedenen Gründen die Elastizitätsgrenze erreicht ist. Die Zonen der plastischen Formänderungen befinden sich infolgedessen in der Nähe aller Punkte geometrischer oder mechanischer Unstetigkeit, von denen es in einer Konstruktion unzählige gibt, und in den Zonen großer elastischer Formänderungen. Diese Zonen der plastischen Formänderungen sind aber im allgemeinen in einer gut ausgeführten Konstruktion äußerst beschränkt. Tatsächlich ist der Anstieg der Festigkeit, den die Anpassungsverformungen bewirken, auf die ungleiche Verteilung der Beanspruchungen und auf das dadurch bewirkte Vorhandensein von weniger ermüdeten Zonen zurückzuführen. Diese Zonen sind in gut entworfenen Konstruktionen zwangsläufig von geringer Bedeutung.

Daraus ergibt sich eine erste Folgerung: wenn die Zähigkeit des Stahls hinsichtlich der Stabilität der Konstruktionen ein wesentlicher Faktor ist, so verbessert sie nicht die Festigkeit gut entworfener Konstruktionen, sie korrigiert nur etwaige Konstruktionsfehler, die Mängel an Homogenität des Stoffes und die Wirkung der Stützensenkungen. Unseres Erachtens könnte man eine neue Berechnungsmethode für die Konstruktionen unter Verwertung der Eigenschaften der plastischen Verformung nicht aufbauen.

Dennoch sind die Berechnungsmethoden, die sich auf das Vorhandensein der plastischen Formänderungen stützen, nicht zu verwerfen, und, was uns betrifft, so wenden wir sie täglich an. Aus verschiedenen Gründen entspricht nämlich die Form, die den einzelnen Bauteilen gegeben wird, nicht der Höchstleistungsfähigkeit des Stoffes. Es ist daher ganz erklärlich, daß man die Zähigkeit des Stahls ausnützt, um den auf unzweckmäßige Formgebung zurückzuführenden mechanischen Fehler teilweise zu verbessern. Ich möchte mich näher ausdrücken: nehmen wir z. B. einen Bogen, einen Rahmen oder einen durchlaufenden Träger an. Das Beste wäre, diese Teile, soweit angängig, so auszuführen, daß die Elastizitätsgrenze bei ungünstigster Belastung an allen Stellen gleichzeitig erreicht wird. Die Zähigkeit des Werkstoffes ist dann für die Berechnung ohne Wert. Wenn man jedoch gezwungen ist, Formen anzuwenden, die hinsichtlich des mechanischen Wirkungsgrades ungünstig sind, so darf man nicht den Fehler begehen, sie auf Grund der Annahme elastischer Formänderung unter der Einwirkung der ruhenden Belastungen zu berechnen, denn dann würde man dem ersten Fehler einen zweiten hinzufügen; man muß sie vielmehr auf Grund der Annahme der plastischen Formänderung berechnen, um den Verlust an Wirkungsgrad, der durch eine unrichtige Wahl der Form hervorgerufen wird, auf ein Mindestmaß herabzusetzen.

Unseres Erachtens stellen also die Berechnungsmethoden mit der Plastizitätstheorie äußerste Notbehelfe dar, die man für die Berechnung von mechanischen Elementen mit schlechtem Wirkungsgrad und selbstverständlich nur für die ruhenden Lasten anwenden sollte.

Von diesem letzten Gesichtspunkt aus ist es wünschenswert, daß die jetzt angewandten Methoden genormt werden, und daß man zu einfachen Formeln für die Behandlung der üblichen statisch unbestimmten Systeme, insbesondere Bögen und Rahmen, gelangt. Es dürfte heute nicht mehr vorkommen, daß man diese üblichen Bauelemente bei ruhenden oder wenig veränderlichen Lasten anders berechnet als unter Anwendung des Anpassungsgesetzes.

Unsererseits haben wir für die Berechnung jeder ruhenden oder als solche aufzufassenden Lasten unterliegenden Konstruktion folgende Regel aufgestellt: jedes Kräfte- und Beanspruchungssystem, das ein gegebenes mechanisches Gebilde im Gleichgewicht hält, ist ein System, das verwirklicht werden kann, wenn man die Anpassung berücksichtigt.

Wenn dieses System von einer gewissen Anzahl willkürlicher Parameter abhängt, so muß man möglichst versuchen, diese Parameter so zu bestimmen, daß das Minimum des Höchstwertes der Beanspruchungen an den verschiedenen Punkten des Systems erreicht wird. Mit anderen Worten, wenn ein rein statisches Gleichgewicht möglich ist, so ist die Konstruktion bei ruhenden Lasten stabil, ohne sich fragen zu müssen, ob das System der errechneten Beanspruchungen auch tatsächlich das wirkliche ist.

Das vorstehend genannte Prinzip hat uns bei der Projektierung aller von uns entworfenen Bauten geleitet. Es hat sich als ein besonders wirksames Hilfsmittel bei jenen Bauten erwiesen, wo, im Gegensatz zum üblichen Fall, nicht die Verformungen für die Beanspruchungen bestimmend sind, da deren Wert ausschließlich von der Lage der Lasten und der Art der Auflager abhängt.

Es ist dies besonders der Fall bei den zweidimensionalen mechanischen Systemen, d. h. wo die Belastungen sich mehr oder weniger gemäß einer Fläche ausbreiten. Die Eigenschaften dieser Systeme sind eng an die mechanischen Eigenschaften der Flächen gebunden. Wenn man die mechanischen Vorgänge, die durch das Gleichgewicht der Flächen hervorgerufen werden, untersucht, so kommt man bald zu Systemen, die sich im Gleichgewicht befinden und beiderseits derselben Kurve der Fläche Unstetigkeiten in den Beanspruchungen der parallelen Elemente aufweisen, welche Unstetigkeiten zu plötzlichen Längenänderungen der Elemente führen. Eine genauere Untersuchung zeigt, daß infolge der Elastizität des Stoffes ein solches Gleichgewicht ohne Bruch des Werkstoffs nicht möglich ist. Die Erfahrung lehrt aber, daß solche Systeme durchaus stabil sind. Die Erklärung für diesen Widerspruch wird ebenfalls durch die Zähigkeitstheorie gegeben.

Wenn infolge plötzlicher Veränderungen der Beanspruchungen das Linienelement einer Fläche bedeutende Formänderungen erleidet, so kann sich die Fläche entweder geometrisch so verändern, daß ihr Linienelement die fragliche Änderung erleidet, oder es bilden sich bleibende Dehnungen, die einen Ausgleich der durch die mechanische Wirkung der Beanspruchungen hervorgerufenen Formänderungen bewirken. Unseres Erachtens spielt die Zähigkeit des Stahls hierbei eine sehr bedeutende Rolle, obwohl sie ziemlich schwer zu bestimmen ist.

Die Unstetigkeitslinien der Beanspruchungen, die sich somit im Gleichgewicht der Flächen zeigen, gehen gewöhnlich von den Unstetigkeitspunkten des Umfangs aus oder fallen mit letzterem zusammen. Es ist ein Leichtes, die durch die Unstetigkeit am Umfang hervorgerufenen Unstetigkeitslinien zum Verschwinden zu bringen; es genügt, die Ecken, wenigstens für die Berechnung, abzurunden. Die Unstetigkeitslinien entlang dem Umfang selbst sind schwieriger zu beseitigen; gerade hier spielt die Dehnbarkeit des Stoffes eine ausschlaggebende Rolle.

Unter diesen Unstetigkeitslinien der Beanspruchungen einer Fläche, spielen die asymptotischen Linien, sofern sie vorhanden sind, die größte Rolle. Gemäß gewissen dieser Linien führen die Gleichgewichtsbedingungen zur Auffindung von

Unstetigkeiten der Beanspruchungen, woraus sich eine Unstetigkeit der Dehnung ergibt. Wenn die Oberfläche genügend biegsam ist, um sich zu verformen, so wird die Verformung der Fläche, wenn diese asymptotischen Unstetigkeitslinien am Umfang liegen, eine Veränderung der Lage dieser asymptotischen Linien bewirken, die dann den Umfang verlassen. Man wird dadurch zurückgeführt auf den Fall von asymptotischen Unstetigkeitslinien, die ihren Ursprung in einer Ecke des Umfangs haben. Die Zähigkeit des Stahls in der Nähe dieser Ecke bewirkt die Beseitigung dieser Unstetigkeit, indem der wirkliche Umfang durch einen fiktiven Umfang ersetzt wird, in dem jede Unstetigkeit verschwunden ist.

Die Untersuchung der plastischen Formänderungen des Stahls in solchen Systemen, wie die von uns eben untersuchten, spielt eine vielleicht noch größere Rolle als in den gewöhnlichen Hochbauten; denn, im Gegensatz zu dem, was sich bei diesen abspielt, wäre es unmöglich, standhafte Systeme zu bauen, ohne die Anpassung des Werkstoffes einwirken zu lassen, welche durch die Zähigkeit des Werkstoffs ermöglicht wird. Es ist dies ein a priori paradoxes Beispiel eines statisch bestimmten Systems, das die Plastizitätstheorie rechtfertigt.