Zeitschrift: IABSE reports = Rapports AIPC = IVBH Berichte
Band: 37 (1982)

Artikel: Lebensdauervorhersage für geschweisste Kranbauteile
Autor: Müller, U. / Ungerer, W.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-28958

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: 06.12.2025

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

Lebensdauervorhersage für geschweisste Kranbauteile

Design Life Estimation of Welded Crane Girders

Estimation de la durée de vie d'éléments soudés de ponts-roulants

U. MÜLLER
Dr. -Ing.
Verein Deutscher Eisenhüttenleute
Düsseldorf, BRD

W. UNGERER
Dr. -Ing.
Verein Deutscher Eisenhüttenleute
Düsseldorf, BRD

ZUSAMMENFASSUNG
Ein Dimensionierungsverfahren zur quantitativen Ermittlung und Erhöhung der Anlagenzuverlässigkeit wird vorgestellt. Die Ermüdungsschäden an den Schweissverbindungen von Kran- und Kranbahnträgern wurden ausgewertet. Das Beanspruchungskollektiv im anrissgefährdeten Querschnitt von Schweissverbindungen wurde ermittelt und die Bauteilwöhlerlinie für geschweisste Grossbauteile abgeschätzt. Die rechnerische Lebensdauerschätzung und ein Vergleich der betrieblichen mit den berechneten Bruchlastspielzahlen werden diskutiert.

SUMMARY
A design procedure is presented for evaluating and improving the reliability of installations. This includes a fatigue life calculation and an evaluation of fatigue damage to welded joints in both the crane and its runway girders. In particular, the combination and application of loads is considered in zones of welded joints susceptible to crack initiation. The estimation of S-N curves for large welded elements is discussed and a comparison made between the calculated and measured number of cycles to fracture.

RESUME
Il s'agit d'un procédé de calcul pour l'estimation quantitative et l'augmentation de la sécurité des installations. On effectue le calcul de la résistance sous sollicitations de service et on exploite les dommages dus à la fatigue aux assemblages soudés de ponts-roulants et poutres de roulement. Les courbes de Wöhler d'éléments de construction soudés importants sont estimées et l'on compare les durées de vie calculées avec celles effectives mesurées sous les charges de service.

1. INSTANDHALTUNGSKOSTEN, BAUTEILZUVERLÄSSIGKEIT, DIMENSIONIERUNGSKONZEPT

Im Bereich der deutschen Stahlindustrie werden die Anlagenkosten in hohem Maße durch die Instandhaltungskosten bestimmt. Eine nachhaltige Senkung der Instandhaltungskosten setzt bei dem hohen Niveau der Instandhaltungstechnik in den Hüttenwerken eine Erhöhung der Anlagenzuverlässigkeit durch weiterentwickelte Dimensionierungsverfahren und -maßnahmen voraus. Die Anlagenbetreiber fordern daher von den Anlagenherstellern zunehmend Nachweise für die erreichte Gesamtzuverlässigkeit der gelieferten Anlage. Diese Forderung ist jedoch nur bedingt zu erfüllen, weil es bisher keine allgemein anwendbaren Zuverlässigkeitsmodelle für komplexe Anlagen gibt. Man versucht deshalb heute, hohe Anlagenzuverlässigkeit über eine Vereinheitlichung und Anhebung des Zuverlässigkeitsniveaus aller Einzelbauteile zu verwirklichen und den erreichten Wert durch Zuverlässigkeitsangaben für die Einzelbauteile zu charakterisieren [1]. Diese Aufgabe, die über den Rahmen der bisher in Regelwerken geforderten Nachweise hinausgeht, erfordert ein umfassendes Dimensionierungskonzept, wie es in Bild 1 dargestellt ist. Die Ermittlung der Bauteilzuverlässigkeit kann mit der Betriebsfestigkeitsrechnung erfolgen. Dabei wird durch den Vergleich von auftretenden und ertragbaren Beanspruchungen die Bauteil-Lebensdauerverteilung F(t) ermittelt. Komplement dieser Verteilung ist die Zuverlässigkeitsfunktion R(t).

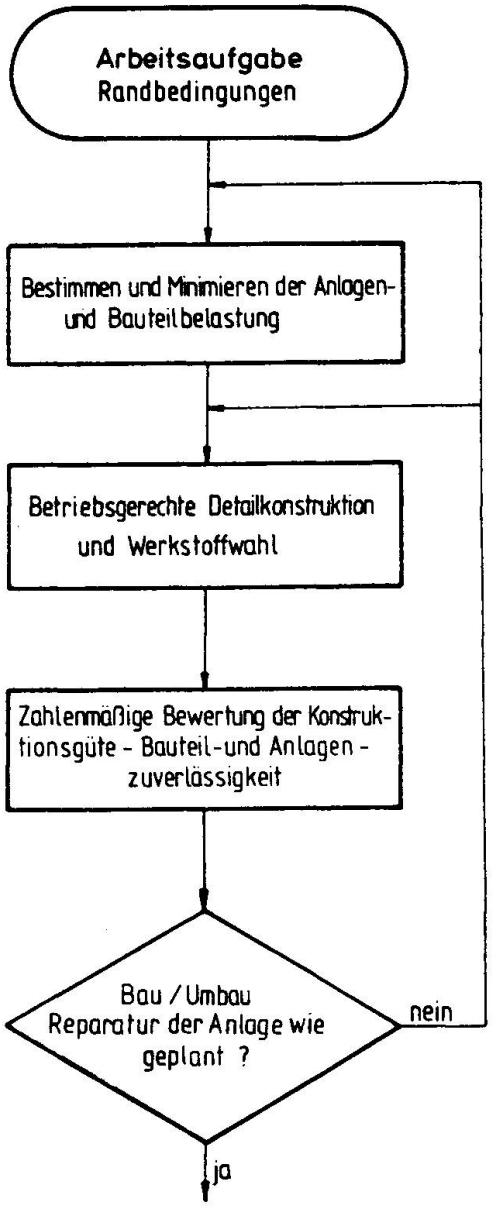

Bild 1: Konzept einer betriebsgerechten Dimensionierung
Fig. 1: Design procedure for service loading conditions

2. BETRIEBSFESTIGKEITSRECHNUNG NACH DEM KONZEPT DER ARBEITSGEMEINSCHAFT BETRIEBSFESTIGKEIT DES VDEh

Die von der Arbeitsgemeinschaft Betriebsfestigkeit empfohlene Vorgehensweise

ist in Bild 2 dargestellt [2].
Die Bauteilbeanspruchungen werden durch das auf die vorgesehenen Nutzungsdauer extrapolierte Kollektiv der Spannungsschwankungen gekennzeichnet, dem im allgemeinen eine Auftretenswahrscheinlichkeit von 50% zugeordnet wird. Die ertragbaren Beanspruchungen werden durch die Bauteil-Wöhlerlinie, die für die Ausfallwahrscheinlichkeit von 50% abzusichern ist, gekennzeichnet. Die Schadensakkumulationsrechnung liefert dann einen Schätzwert für die zu erwartende Lebensdauer bei einer Ausfallwahrscheinlichkeit von 50%.
Der gesuchte Lebensdauerwert für eine geforderte Ausfallwahrscheinlichkeit oder auch Bauteilzuverlässigkeit wird über eine Hilfsgröße i_L gefunden. Sie ist unter Annahme log-normal verteilter Lebensdauern in Abhängigkeit von der Ausfallwahrscheinlichkeit und der Streuspanne $T_{90\%} = L_{10\%} : L_{90\%}$ tabelliert. Der mögliche Bereich dieser Streuspanne wird für Bauteile von Hüttenwerksanlagen in [2] mit 1:5 abgeschätzt.

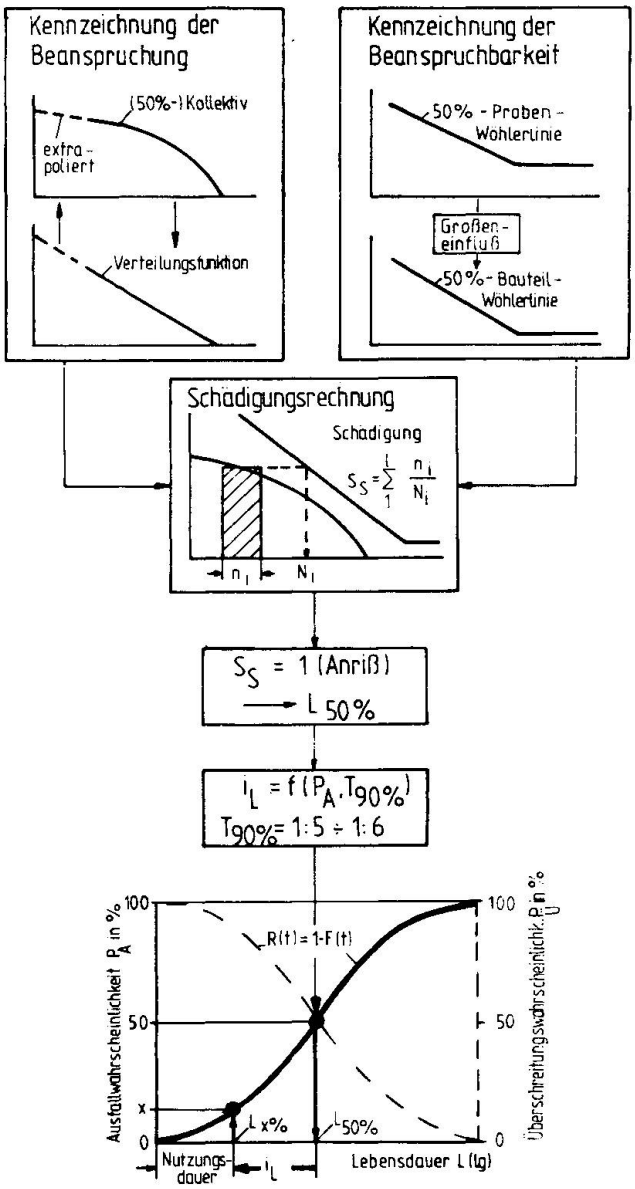

Bild 2: Lebensdauervorhersage für eine vorgebbare Ausfallwahrscheinlichkeit
Fig. 2: Calculation of the life for a required probability of failure

3. BETRIEBSUNTERSUCHUNGEN AN GESCHWEISSTEN KRANTRÄGERN

Im folgenden wird über Untersuchungen berichtet, die das Ziel verfolgten, die Anwendbarkeit des genannten Konzeptes auf Stahlbauteile zu überprüfen. Dazu wurden exemplarisch Ermüdungsschäden an geschweißten Verbindungen im Bereich der befahrenen Obergurte von Kran- und Kranbahnträgern ausgewertet [3].

3.1 Ermüdungsschäden an den Schweißverbindungen im Bereich der befahrenen Obergurte von Krantragwerken

Die Raddruckbeanspruchungen in den geschweißten Verbindungen zwischen dem befahrenen Obergurt und dem Stegblech setzen sich aus der Grundbeanspruchung in-

folge der fiktiv zentrisch eingeleiteten Radlast und Zusatzbeanspruchungen aus exzentrischen Radlasten zusammen. Diese Zusatzbeanspruchungen werden im wesentlichen beeinflußt durch

- die Exzentrizität der Radlast und Seitenkräfte aus der Schrägfahrt von Kran und Katze,
- die Verdrehsteifigkeit von Obergurt, Schiene und Stegblech,
- die Druckverteilung über die Schienenfußbreite,
- den Verschleißzustand von Schienenkopf und Laufrad und
- den fertigungsbedingten Versatz zwischen Schiene und Stegblech.

Sie bewirken Querbiegungen mit örtlichen Spannungskonzentrationen im Bereich der Schweißverbindungen. Ein rechnerisches Verfahren zur Ermittlung der statistischen Verteilung der betrieblichen Beanspruchungsschwankungen unter Berücksichtigung der genannten Einflußgrößen ist bisher nicht bekannt. Im Rahmen der Untersuchung wurden deshalb die betrieblichen Beanspruchungsschwankungen im Bereich des anrißgefährdeten Querschnitts der Schweißverbindungen zwischen Obergurt und Stegblech mit Dehnungsmeßstreifen (DMS) ermittelt. Bild 3 zeigt beispielhaft eine Übersicht über die Meßstellen an einem Kranträger.

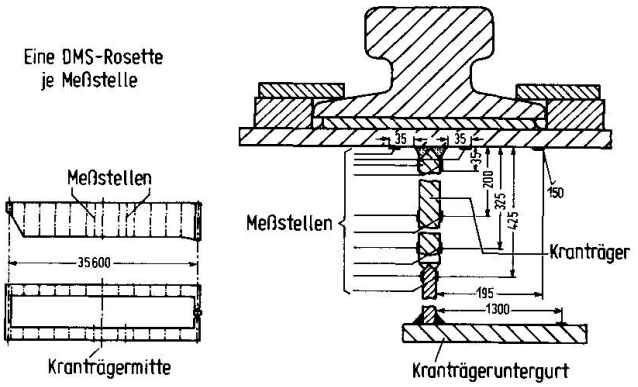

Bild 3: Meßstellenanordnung an einem 100-t Brammentransportkran
Fig. 3: Measuring point arrangement on a 100-t slab conveying crane

3.2 Betriebliche Beanspruchungen

Die umfangreichen Meßergebnisse sind in einem Bericht [3] dargelegt. Deshalb sollen an dieser Stelle nur einige kennzeichnende Teilergebnisse vorgestellt werden. Bild 4 zeigt die aus den gemessenen Dehnungen berechneten Spannungs-Zeit-Verläufe im Stegblech eines Kranträgers. Im Bild sind die Verläufe der Schub- und Normalspannungen sowie die daraus berechneten Vergleichsspannungen nach der Normalspannungs- und Gestaltänderungsenergiehypothese dargestellt. Die in vertikaler Richtung wirkende Normalspannung σ_y wird durch das Spannungsfeld der örtlich eingeleiteten Radlast bestimmt. Sie ist gleich Null, solange keines der beiden Katzräder in unmittelbarer Nähe des Meßquerschnittes steht.
Die Druckspannung σ_y steigt steil an und erreicht einen Höchstwert, wenn ein Katzrad den Meßquerschnitt überrollt. Dieser Verlauf wird hinsichtlich der

Größe der Spannungsschwankungen auf beiden Seiten des Stegbleches beobachtet. Der Einfluß einer überlagerten Stegblechquerbiegung infolge exzentrischer Radlasten verursacht eine geringe Mittelspannungsverschiebung. Die Schubspannung τ im Stegblech setzt sich aus zwei Anteilen zusammen, die der Querkraft und dem Spannungsfeld der örtlichen Radlasteinleitung zugeordnet werden können. Der Verlauf der Normalspannung σ_x, die in Trägerlängsrichtung wirkt, setzt sich aus einem Biegespannungsanteil, der dem Verlauf der Zuggurtbeanspruchungen proportional ist, und einem Anteil aus der Einleitung der Radlasten zusammen. Der ebene Spannungszustand im Stegblech wird im wesentlichen von der Überlagerung der Trägerbiegespannungen, der Schubspannungen aus den Querkräften und dem Spannungsfeld aus der Einleitung der Radlast bestimmt. Die größten Spannungsschwankungen hat die Druckspannung σ_y. Die Verläufe der Vergleichsspannungen sind gleichartig. Sie ähneln im Grundverlauf der Biegespannung σ_x, und haben ähnlich hohe Spannungsspitzen wie die vertikale Druckspannung.

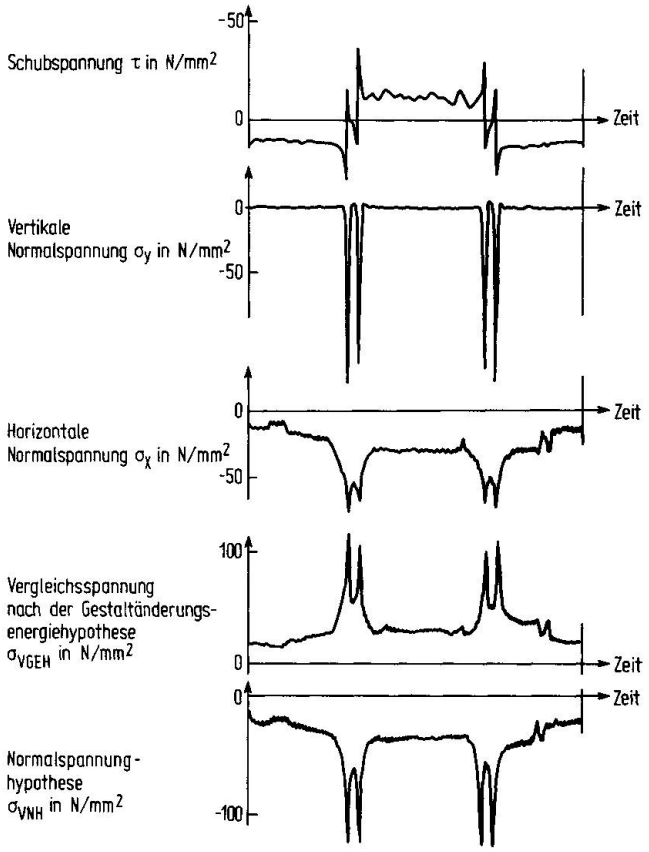

Bild 4: Gemessene Spannungen und berechnete Vergleichsspannungen im Stegblech eines 32-t Stripperkranes für zwei Katzfahrten

Fig. 4: Measured stresses and computed comparision stresses in the web plate of a 32-t stripping crane for two trolley travels

3.3 Kollektiv der gemessenen Spannungsschwankungen

Aus den gemessenen Spannungs-Zeit-Verläufen wurden mit Hilfe der Überschreitungszählung von Klassengrenzen und der Extremwertanalyse Spannungskollektive abgeschätzt. Diesen Auswertungen lagen Beanspruchungsmessungen über drei bis fünf Schichten mit einem repräsentativen Arbeitsprogramm der Anlagen zugrunde. Bild 5 zeigt schematisch das Beanspruchungskollektiv im Katzschienenbereich eines Kranträgers. Die Normalspannung σ_y schwankt bei jeder Katzradüberrollung zwischen einer Oberspannung σ_{yO} im Zugbereich und einer Unterspannung σ_{yU} im Druckbereich. Der Kollektivumfang ist gleich der Zahl der Katzradüberrollungen. Die Unterspannung σ_{yUmin}, die bei jeder Katzradüberrollung erreicht oder überschritten wird, ist näherungsweise berechenbar, wenn die kleinste Rad-

last der Katze zentrisch am Schienenkopf angenommen wird.

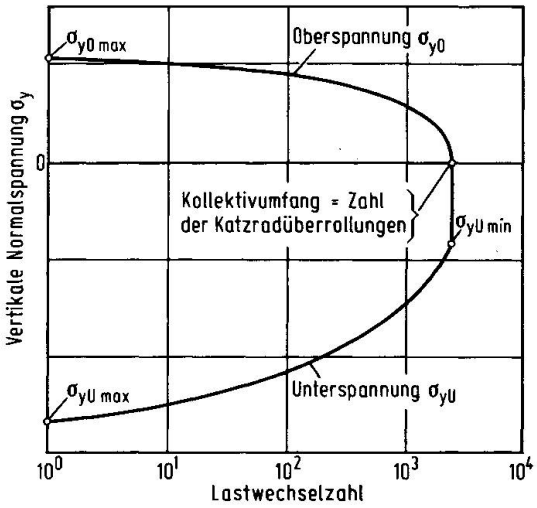

Bild 5: Kollektiv der Überschreitungshäufigkeit von Klassengrenzen für die Normalspannung σ_y, im Stegblech eines Krankastenträgers (schematisch)
Fig. 5: Collective of a exceeding frequency of class limits for the normal stress σ_y, in the web plate of a crane box girder (schematic)

3.4 Bauteil-Wöhlerlinie für geschweißte Großbauteile

Die benötigten Bauteilwöhlerlinien wurden für die untersuchten Verbindungen konstruiert. Dabei wurde angenommen, daß das normierte Wöhlerlinienstreuband, das aus Versuchen mit geschweißten Kleinproben abgeleitet worden ist, grundsätzlich auch zur Beschreibung der Schwingfestigkeit geschweißter Großbauteile geeignet ist. Damit wird als Schwingfestigkeitskennwert lediglich die mittlere, dauerhaft ertragbare Spannungsamplitude zur Kennzeichnung der Schwingfestigkeit im Bereich $> 10^4$ Lastwechsel benötigt. Ausgehend von den Versuchsergebnissen für geschweißte Kleinproben [4], wurden die Einflußgrößen auf den Schwingfestigkeitskennwert von geschweißten Großbauteilen diskutiert. Die wesentlichen Einflußgrößen sind

- die Fertigungsqualität,
- der statistische Größeneinfluß,
- der geometrische Größeneinfluß und
- der Einfluß von Schweißeigenspannungen [5,6].

Eine differenzierte, quantitative Gewichtung jeder einzelnen Einflußgröße ist heute noch nicht möglich. Die Schrifttumsdurchsicht zeigte jedoch, daß bislang der Einfluß von Schweißeigenspannungen auf den Schwingfestigkeitskennwert zu günstig bewertet wird. Es ist vielmehr davon auszugehen, daß die dauerfest ertragbare Spannungsamplitude einer Verbindung mit Eigenspannungen im Bereich der Streckgrenze bei nur etwa 60 % der ertragbaren Spannungsamplitude einer vergleichbaren, eigenspannungsfreien Verbindung liegen kann. Diese Abminderung wurde auch in dieser Untersuchung berücksichtigt, weil Eigenspannungsmessungen an Wrackteilen von geschweißten Kranträgern und an geschweißten Großproben mit DMS-Bohrlochrosetten die Existenz solcher hohen Eigenspannungen bestätigten. Der Schwingfestigkeitskennwert der untersuchten Verbindungen wurde mit Versuchsergebnissen für geometrisch ähnliche geschweißte Kleinproben unter Berücksichtigung der genannten Einflußgrößen abgeschätzt.

Diese abgeschätzten Schwingfestigkeitskennwerte liegen für den Kerbfall K3 (nach DIN 15018) um 23% und für den Kerbfall K4 um 47% unter den mittleren, dauerfest ertragbaren Spannungsamplituden, die den zulässigen Spannungen nach DIN 15018 zugrunde gelegt sind. Die durchgeführte Abschätzung zeigt eine befriedigende Übereinstimmung mit Vorschlägen von T. Gurney und A. Granström [5,7]. Daraus wird jedoch auch deutlich, daß weitere systematische Untersuchungen zur Schwingfestigkeit geschweißter Großbauteile, insbesondere auch mit betriebsähnlichen, mehrachsigen Beanspruchungsschwankungen, notwendig sind.

3.5 Lebensdauerabschätzung

Mit den konstruierten Bauteilwöhlerlinien und den ermittelten Amplitudenkollektiven der Beanspruchungen im anrißgefährdeten Querschnitt von Schweißverbindungen wurden Schädigungsrechnungen nach der modifizierten, linearen Schädigungshypothese durchgeführt. Die berechneten Bruchlastspielzahlen wurden mit den betrieblich festgelegten Bruchlastspielzahlen verglichen. Dazu wurde, vergleichbar einem statistischen Mittelwerttest, eine Kenngröße M ermittelt. Dabei wird der Abstand zwischen der betrieblichen und der mittleren berechneten Bruchlastspielzahl ins Verhältnis gesetzt zum Abstand der berechneten Bruchlastspielzahlen für die Überlebenswahrscheinlichkeiten $P_Ü = 10\%$ und $P_Ü = 90\%$. Die Verteilungsfunktion der ermittelten Kennwerte M für die untersuchten Schadensfälle ist im Wahrscheinlichkeitsnetz (Bild 6) dargestellt. Daraus geht hervor, daß die berechneten und die betrieblichen Bruchlastspielzahlen im Mittel übereinstimmen, weil der Mittelwert der Verteilungsfunktion bei Null liegt. Für den größten Teil der Schadensfälle liegen die betrieblichen Bruchlastspielzahlen innerhalb des berechneten Streubereiches für die Überlebenswahrscheinlichkeiten $P_Ü = 10\%$ und $P_Ü = 90\%$, das heißt, M liegt im Bereich $-0{,}5 \leq M \leq 0{,}5$.

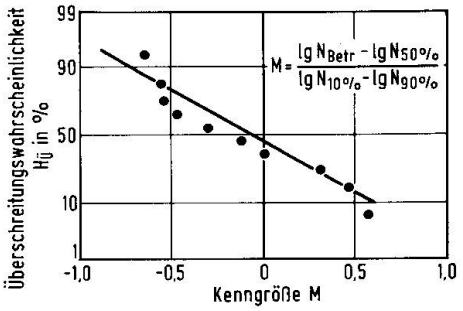

Bild 6 : Verteilungsfunktion der Kenngröße M für die untersuchten Schadensfälle
Fig. 6 : Distribution function of the parameter M for the investigated cases damage

4. ZUSAMMENFASSUNG

Auf der Grundlage dieser Ergebnisse scheint es möglich, die Bauteillebensdauer in der Konstruktionsphase wirklichkeitsnah abschätzen zu können, wenn das Kollektiv der Ermüdungsbeanspruchungen im anrißgefährdeten Querschnitt und die Bauteilwöhlerlinie miteinander verknüpft werden. Mit Hilfe alternativer Schädigungsrechnungen für verschiedene Verbindungsformen kann eine betriebsfeste Bauteilgestaltung mit noch zulässiger Ausfallwahrscheinlichkeit erreicht werden. Die Treffsicherheit solcher Abschätzungen kann durch weitere Schwingfestigkeitsuntersuchungen mit mehrachsigen Beanspruchungsschwankungen verbessert werden.

Die Untersuchung leistet damit einen Beitrag zum eingangs erläuterten Dimensionierungskonzept für Stahltragwerke, das es dem Konstrukteur ermöglichen soll, die Bauteilzuverlässigkeit in der Konstruktionsphase als Maß für die Konstruktionsgüte nachzuweisen.

5. SCHRIFTTUM

1. Ungerer, W.: Betriebsfestigkeitsbetrachtung als Mittel zur Erhöhung der Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit ermüdungsgefährdeter Produktionsanlagen der Stahlindustrie, VDI-Berichte Nr. 395 (1981) S. 33/44

2. Leitfaden für eine Betriebsfestigkeitsrechnung. Bericht der Arbeitsgemeinschaft Betriebsfestigkeit ABF 01, Düsseldorf 1977

3. Müller, U.: Beitrag zum Ermüdungsverhalten geschweißter Krantragwerke. Diss. TU Clausthal 1979

4. Gaßner, E., Griese, F.W. u. E. Haibach: Ertragbare Spannungen und Lebensdauer einer Schweißverbindung aus Stahl St 37 bei verschiedenen Formen des Beanspruchungskollektivs. Archiv Eisenhüttenwesen 35 (1964) H. 3, S. 255/67

5. Gurney, T.R.: Fatigue design rules for welded steel jonits. Welding Institut Research Bulletin May 1976

6. Haibach, E.: Schwingfestigkeitsverhalten von Schweißverbindungen. VDI-Berichte Nr. 268 (1976) S. 179/192

7. Granström, A.: The Fatigue Behavior Of Crane Girders. IIW Doc. XIII - 894 - 78