

# Kranbahnen und Kranhallen im Bestand – Bewertung, Schadensbilder, Weiterbetrieb

Die überalterte Infrastruktur Deutschlands wird zunehmend zu einem Problem; alters- und abnutzungsbedingte Schäden, Mängel oder Ausfälle werden zum Risiko. Von diesem Alterungsprozess sind auch die Industrieanlagen und die darin enthaltene Fördertechnik betroffen. Für die Bewertung und das Alterungsmanagement von Bestandsbauwerken steht in Deutschland die VDI-Richtlinie 6200 [1] zur Verfügung. Diese Richtlinie zur Bestandsbewertung richtet sich sowohl an die Bauwerkseigentümer und deren Verfügungsberechtigte als auch an die beteiligten Sachkundigen wie Architekten und Ingenieure. Im Bereich der Fördertechnik gehören Kranbahnen und Kranhallen zum Tragwerk und damit zum Bauwesen und fallen somit in den Verantwortungsbereich des Tragwerksplaners bei der Bestandsbewertung. Kranbahnen und Kranhallen unterliegen infolge des Kranbetriebs einer „nicht vorwiegend ruhenden Beanspruchung“ und sind damit ermüdungsbeansprucht. Infolge der Ermüdungsbeanspruchung kommt es zu Schädigungen im Gefüge und das kann zur Rissbildung an Querschnittsteilen führen. Die Bestandsbewertung und damit die Aussage, ob Kranbahn oder Kranhalle weiterbetrieben, ertüchtigt oder durch Neubauten ersetzt werden müssen, ist damit deutlich umfangreicher als bei Standardtragwerken unter „vorwiegend ruhender Beanspruchung“. Im Rahmen dieses Beitrags werden Besonderheiten bei der Bewertung von Bestandskranbahnen und Bestandskranhallen aufgezeigt, typische Schadensbilder vorgestellt und mögliche Maßnahmen erläutert, wie ggf. eine Weiternutzung von Kranbahnen und Kranhallen erreicht werden kann.

**Keywords** Stahlkonstruktionen im Bestand; Industriebau; Kranbahnen; Kranhallen

## 1 Einführung

### 1.1 Bestandsbewertung bei Bauwerken

Bei Bauwerken muss während ihrer gesamten Lebensdauer sichergestellt sein, dass unter Beachtung der Alterung der Baustoffe, der jeweiligen Umweltbedingungen, möglichen Umnutzungen oder infolge Umbaumaßnahmen die Anforderungen an die Standsicherheit und Ge-

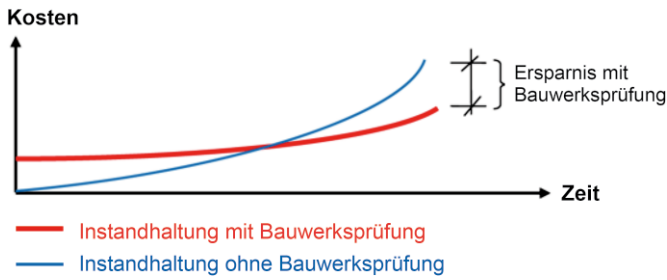
### Existing crane runway girders and crane runway supporting structures: assessing & evaluation, damage profiles and further operation

It is widely accepted that Germany's current infrastructure is deteriorating at an increasing rate as a result of ageing; industrial facilities including their conveyor systems are also very much affected by this ageing process. In Germany, VDI Guideline 6200 [1] forms a framework for matters concerning the assessment and ageing management of existing buildings. This guideline provides support both to the owners of the construction and to their associated, authorized co-parties but also extends to any other specialists involved such as architects and engineers. In the field of conveyor technology, the crane supporting structures, including the crane runway beam, fall under the mantle of the construction industry. In turn, the crane supporting structures thus become an area of responsibility for the structural engineer when assessing and evaluating existing structures. Under operational circumstances, crane supporting structures including production halls are "not predominantly subjected to static loading" and are thus exposed to fatigue-stresses. Exposure to fatigue-stresses may result in damage and to crack formation at cross-sectional parts. Consequently, any assessment or evaluation including the decision as to whether the crane supporting structures can remain in operation, must undergo revision or indeed be wholly replaced, is more complex than is the case for standard load-bearing structures "predominantly subjected to static loading". Within the scope of this article, characteristics specific to the assessment of crane supporting structures shall be outlined; in addition, typical damage profiles accompanied by viable measures to facilitate further commercial use are demonstrated.

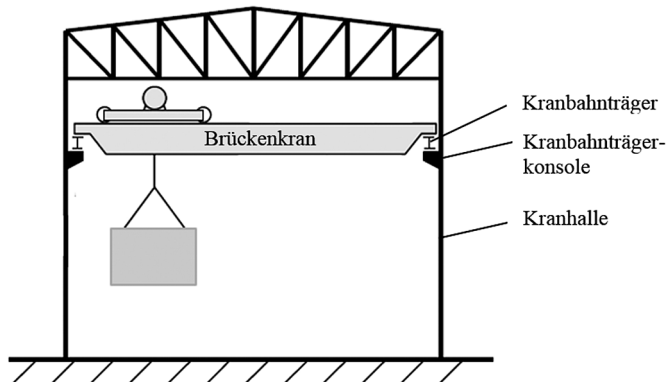
**Keywords** existing steel structures; industrial facilities; crane runway beams; crane supporting structures

brauchstauglichkeit gewährleistet werden. Der Wert eines Bauwerks wird zusätzlich durch die Anforderungen an die Dauerhaftigkeit bestimmt, welche neben einer regelkonformen Planung und Ausführung bei der Errichtung auch durch eine entsprechende Bauwerkserhaltung und Bestandsbewertung während der Nutzung erzielt wird. Für die Bewertung und das Alterungsmanagement von Bestandsbauwerken steht in Deutschland die VDI-Richtlinie 6200 [1] zur Verfügung. Hierin sind eine Bauzustandserfassung, regelmäßige sachkundige Bauwerksprüfungen sowie darauf aufbauende Bauerhaltungsmaßnahmen enthalten. Infolge eines eingeführten Alterungsmanagementsystems nach VDI-Richtlinie 6200 [1] wird auch eine hohe Lebensdauer eines Bauwerks gewährleistet. Die

\*) Corresponding author: andre.duerr@hm.edu  
Submitted for review: 9 September 2019  
Accepted for publication: 16 September 2019



**Bild 1** Kostenverlauf von Instandsetzungsmaßnahmen nach [2]  
Development of costs for maintenance measures according [2]



**Bild 2** Kranhallenkonstruktion mit Kranbahnträger, Kranbahnträgerkonsole und Kranhalle  
Crane industry hall with crane runway beam and crane supporting structure

Einführung von Alterungsmanagement ist so ressourcenschonend und nachhaltig und dient damit auch dem Klimaschutz. Ein eingeführtes Alterungsmanagementsystem ist allerdings auch ökonomisch, da Schädigungen an Bauwerken frühzeitig bei noch geringem Schädigungsgrad erkannt und Instandsetzungsmaßnahmen kostenreduziert durchgeführt werden können (Bild 1).

## 1.2 Besonderheiten bei Kranbahnen und Kranhallen

Im Bereich der Fördertechnik gehören Kranbahnen, Krankonsolen sowie die Kranhalle selbst zum Tragwerk und damit zum Bauwesen und fallen somit in den Verantwortungsbereich des Tragwerksplaners bei der Bestandsbewertung (Bild 2).

Kranbahnen und Kranhallen unterliegen infolge des Kranbetriebs einer „nicht vorwiegend ruhenden Beanspruchung“ und sind damit ermüdungsbeansprucht. Beispielhaft ist in Bild 3 eine ältere Bestandskranbahn aufgezeigt.

Infolge der Ermüdungsbeanspruchung aus dem Kranbetrieb kommt es in den Kranbahnträgern und deren Unterbaukonstruktionen zu Schädigungen im Gefüge, selbst wenn noch keine Risse erkennbar sind. Die Bestandsbewertung von Kranbahnen oder Kranhallen ist damit deutlich umfangreicher als bei Standardtragwerken unter „vorwiegend ruhender Beanspruchung“. Es ist



**Bild 3** Beispielhafte Bestandskranbahn mit Unterbaukonstruktion  
Existing crane runway beam with its supporting structure

daher zweckmäßig, in den Bestandsunterlagen nach VDI 6200 [1] für die Ermüdungsbeanspruchungen kritische Konstruktionsdetails anzugeben sowie eine Beanspruchungsklasse und die Lebensdauer für Kranbahnen und Kranhalle festzulegen. Spätestens nach Ablauf der festgelegten Lebensdauer, falls im Rahmen von Inspektionen vermehrt Schädigungen auftreten oder falls Kranumnutzungen oder Betriebsänderungen bekannt sind, sollte eine detaillierte rechnerische Schädigungsberechnung für Kranbahnen und Kranbahnunterkonstruktion (Kranbahnkonsolen und Kranhalle) auf Basis neuer Regelwerke durchgeführt werden, um ggf. einen weiteren Kranbetrieb zu gewährleisten.

## 1.3 Regelwerke und gesetzliche Grundlagen

Nach dem Bürgerlichen Gesetzbuch (BGB) ist der Eigentümer bzw. der Verfügungsberechtigte nach § 823 und § 836 verpflichtet, ein Bauwerk so instand zu halten, dass dessen Benutzer nicht gefährdet werden. Weiter sind nach § 3 der Musterbauordnung (MBO) bzw. der jeweiligen Landesbauordnungen Bauwerke so instand zu halten, dass die öffentliche Sicherheit und Ordnung, insbesondere Leben, Gesundheit und die natürlichen Lebensgrundlagen, nicht gefährdet werden. Somit liegt die Verantwortung für die ordnungsgemäße Instandhaltung und die Aufrechterhaltung der Standsicherheit beim Eigentümer oder dem Verfügungsberechtigten eines Bauwerks.

Im Gegensatz zur Bauwerksprüfung bei Ingenieurbauwerken, für die mit der DIN 1076 [3] schon seit 1930 eine stetig weiterentwickelte, allgemein anerkannte Norm zur Verfügung steht, sind die Richtlinien für Bauwerke des Hochbaus erst vor wenigen Jahren entstanden. Im Jahr 2006 wurden infolge der öffentlichen Diskussion über das Erfordernis einer erhöhten Bauwerksüberwachung von Bestandsgebäuden infolge von tragischen Bauwerkeinstürzen von der Bauministerkonferenz der Länder

**Tab. 1** Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_{Mf}$  und erforderliche Inspektionen für Kranbahnen nach Nationalem Anhang [7] zu DIN EN 1993-6 [6]  
Safety factor  $\gamma_{Mf}$  and necessary assessments for crane supporting structures according to the National Annex [7] of DIN EN 1993-6 [6]

| Teilsicherheitsbeiwert | Anzahl der Inspektionsintervalle | Anzahl der Inspektionen |
|------------------------|----------------------------------|-------------------------|
| 1,00                   | 4                                | 3                       |
| 1,15 (Empfehlung)      | 3                                | 2                       |
| 1,35                   | 2                                | 1                       |
| 1,60                   | 1                                | – (Safe-Life-Methode)   |

(ARGEBAU) die „Hinweise für die Überprüfung der Standsicherheit von baulichen Anlagen durch den Eigentümer/Verfügungsberechtigten“ als Anlage zur Musterbauordnung verabschiedet [4]. Diese Hinweise bildeten die Grundlage für die 2010 veröffentlichte VDI-Richtlinie 6200 [1], welche als anerkannte Regel der Technik für die Bauwerksprüfung für Bauwerke des Hochbaus für Immobilienbesitzer und deren Verfügungsberechtigte angesehen werden kann. Eine Ausnahme bildet die Bauwerksprüfung von baulichen Anlagen des Bundes, die nach den „Richtlinien für die Überwachung der Verkehrssicherheit von baulichen Anlagen des Bundes (RÜV)“ [5] in ähnlicher Weise erfolgt.

Für Kranbahnen sind darüber hinaus weitere Vorschriften zu beachten. Bei der Bauwerksprüfung sind die Kranbahnträger nach DIN EN 1993-6 [6] und dem zugehörigen Nationalen Anhang [7] während der Nutzungsdauer planmäßig zu inspizieren. Unter Inspektion wird nach dem Nationalen Anhang [7] zu DIN EN 1993-6 [6] die Überprüfung auf Risse in der Konstruktion verstanden. In Absprache mit dem Bauherrn hat der Tragwerksplaner einer neuen Kranbahnkonstruktion die Anzahl der wiederkehrenden Inspektionen während der rechnerisch angesetzten Lebensdauer festzulegen, die nach dem Nationalen Anhang [7] zu DIN EN 1993-6 [6] die Höhe des anzusetzenden Teilsicherheitsbeiwerts  $\gamma_{Mf}$  für den Ermüdungsnachweis bestimmt (Tab. 1).

DIN EN 1993-6 [6] empfiehlt, für Kranbahnen eine Nutzungsdauer und damit eine Lebensdauer von 25 Jahren anzusetzen, es ergeben sich daraus je nach angesetztem Teilsicherheitsbeiwert Inspektionszeiträume von 6,25 Jahren, 8,33 Jahren bzw. 12,5 Jahren. Sinnvollerweise sollten die Inspektionen allerdings nicht gleichmäßig über den Nutzungszeitraum verteilt, sondern nutzungsorientiert nach ingenieurmäßigen Gesichtspunkten, z. B. dem Alter, Schädigungsgrad oder besonderen Vorkommnissen, festgelegt werden. Bei Ansatz eines Teilsicherheitsbeiwerts von  $\gamma_{Mf} = 1,6$ , der sogenannten Safe-Life-Methode, ist rechnerisch keine Inspektion während der festgelegten Lebensdauer erforderlich. Durch den Ermüdungsnachweis wird das Auftreten von Ermüdungsrissen begrenzt, kann aber aufgrund der großen Streuungen bei der Ermüdungsfestigkeit und möglichen Ungenauigkeiten bei der Festlegung des Kranbetriebs nicht kategorisch ausgeschlossen werden. Durch die zusätzlichen geforderten Inspektionen in den von der Höhe der Teilsicherheitsbeiwerte  $\gamma_{Mf}$  abhängigen Inspektionszeiträumen sollen mögliche Risse, bevor sie eine kritische Größe erreichen und

zum Verlust der Tragsicherheit führen, erkannt und saniert werden.

Nach Ansicht der Autoren sind diese zusätzlichen Inspektionsmaßnahmen auch auf die direkten Kranbahnunterstützungsstrukturen wie Konsolen und ggf. auch Stützen anzuwenden. Regelwerke, wie die im Nationalen Anhang [7] zu DIN EN 1993-6 [6] geforderten Inspektionen im Detail durchzuführen sind, liegen nicht vor. Seit 2018 liegt allerdings von bauforumstahl die Richtlinie „Inspektion von Kranbahnträgern nach DIN EN 1993-6/NA“ [8] als Empfehlung vor, in der Vorschläge für die Vorbereitung, Durchführung und Dokumentation der Inspektion von Kranbahnträgern formuliert sind.

Davon unberührt bleiben weitere zusätzliche Bestimmungen, die sich aus der Wartung der Krananlage und deren wiederkehrenden Prüfungen z. B. aus den Unfallverhütungsvorschriften ergeben. Hierzu zählen laufende Beobachtungen wie Funktionsprüfungen bei laufendem Betrieb, Meldung von Auffälligkeiten wie z. B. ungewöhnliche Geräusche und das Protokollieren von Schäden wie z. B. abfallenden Schrauben.

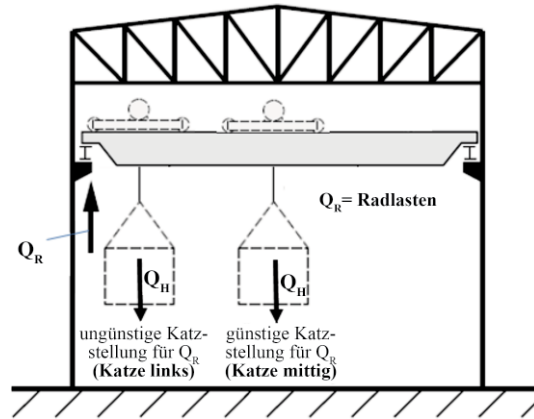
Wurden Kranbahnen auf Basis der DIN 4132 [9] aus dem Jahr 1980 ausgelegt, sind darin nach Kapitel 1 ebenfalls Inspektionen zur Überprüfung der Kranbahnen auf Anrisse in geeigneten Abständen durch den Betreiber der Kranbahnen (oder seinen Beauftragten) durchzuführen. Sind die Bestandskranbahnen nach DIN 120 [10] oder nach dem TGL 13471 [11] ausgelegt worden, sind auch hier aufgrund der gegenwärtig langen Lebensdauer Inspektionen unerlässlich, da diese vorgenannten beiden Normen hinsichtlich der Ermüdungssicherheit als unsichere Altnormen nach [12, 13] anzusehen sind.

#### 1.4 Begriffe

In der Richtlinie VDI 2485 „Instandhaltung von Krananlagen“ [14] und der Richtlinie RL07-104BFS-RL 07-104 „Inspektion von Kranbahnträgern nach DIN EN 1993-6/NA“ [8] werden folgende Maßnahmen der Instandhaltung entsprechend DIN 31501 [15] erläutert:

- *Instandhaltung* ist Inspektion + Wartung + Instandsetzung + Verbesserung.
- Die *Inspektion* bewertet den Istzustand der Konstruktion und erfasst die Abweichungen vom Sollzustand.

- Die *Wartung* beinhaltet die Maßnahmen zur Reduzierung der Abnutzung (Reibung, Korrosion, Ermüdung, Alterung, Bruch) und verlängert damit die Verfügbarkeit der Konstruktion. Hierzu zählen z. B. Schmieren der Laufradlager des Krans, Nachstellen des Spurmaßes, planmäßiger Austausch von Verschleißteilen, Reinigung der Krananlage.
- Die *Instandsetzung* stellt die ursprünglichen Eigenschaften, also den Sollzustand, wieder her. Hierzu zählen z. B. Ersatz von defekten Teilen, Erneuerung des Korrosionsschutzes.
- Als *Verbesserungen* werden Maßnahmen bezeichnet, die zu einer Erhöhung der Funktionssicherheit führen, ohne jedoch die Funktion zu verändern.



**Bild 4** Einfluss der Katzeinstellung auf Radlasten für die Kranbahnbemessung  
Influence of the position of the crab on the wheel loads for the design of the crane runway beams

## 2 Bestandsbewertung von Kranbahnen und Kranhallen

### 2.1 Allgemeine Überlegungen

Die Bestandsbewertung von bestehenden Kranbahnen und Kranhallen basiert prinzipiell auf zwei separaten Aufgabenbereichen. Der erste Aufgabenbereich umfasst statische Untersuchungen, wozu insbesondere die rechnerische Lebensdauerermittlung unter Zugrundelegung der bisherigen Nutzung zählt. Der zweite Aufgabenbereich umfasst eine Zustandserfassung auf Grundlage einer Begehung. Hierzu gehören auch der Abgleich zwischen Planung und Istzustand sowie die Erfassung von möglicherweise aufgetretenen Schäden. Die Ergebnisse beider Aufgabenbereiche sind dann bei der Bewertung hinsichtlich der Dauer eines sicheren Weiterbetriebs, unter Berücksichtigung von ggf. erforderlichen Instandsetzungsmaßnahmen und von festzulegenden regelmäßigen Inspektionen einzubeziehen.

### 2.2 Bisherige Nutzung

Um eine Bewertung für die zukünftige Nutzung von Kranbahnen und deren Unterbaukonstruktionen im Baubestand zu ermöglichen und um die weitere Lebensdauer für diese zu ermitteln, ist insbesondere der Nachweis der Ermüdungssicherheit durch den Tragwerksplaner zu prüfen bzw. durchzuführen. Hierbei sind Informationen zur bisherigen und weiteren Nutzung der Krananlage erforderlich. Bei der bisherigen Nutzung sind folgende Fragestellungen ausschlaggebend, um eine Überprüfung bzw. Festlegung der Beanspruchungsklasse und eine Schädigungsberechnung und damit eine Lebensdauerberechnung durchführen zu können:

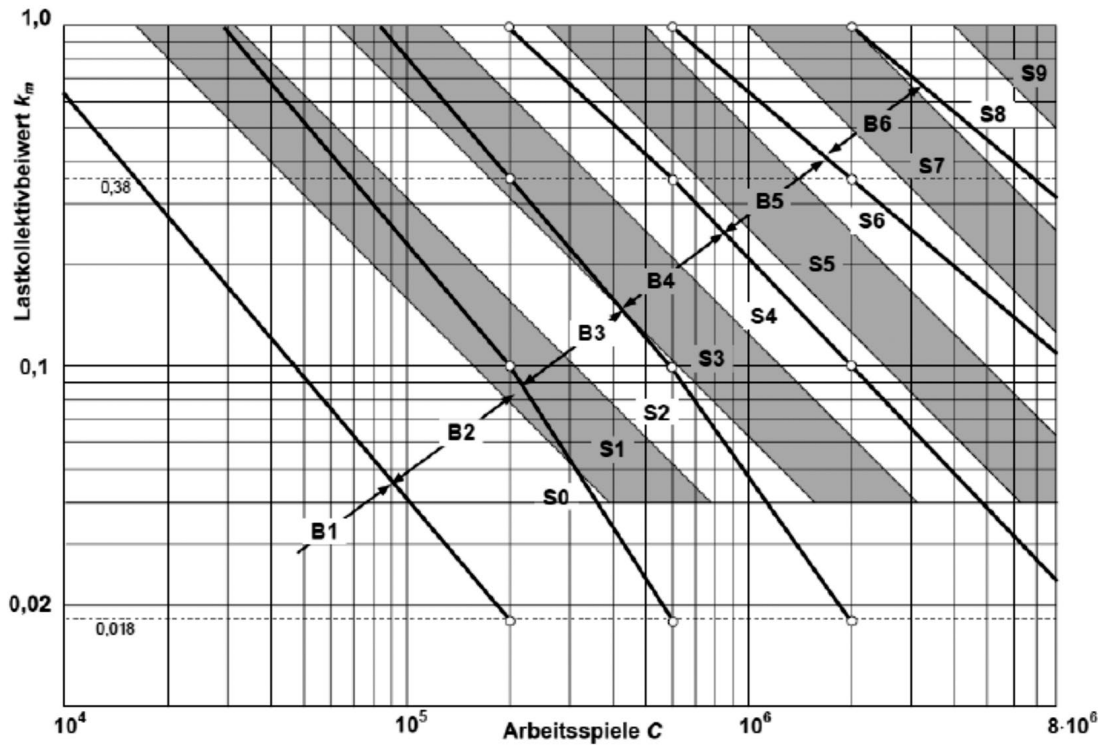
- Ist eine Bestandsdokumentation vorhanden (Kranbuch + Bestandsstatik)?
- Wann wurde die Kranbahn errichtet und die Krananlage in Betrieb genommen?
- Welche Norm wurde in der Bestandsstatik der Kranbahn und der Kranhalle angewandt?
- Welche Beanspruchungsklasse wurde im Kranbuch (Krandatenblatt) für die Krananlage festgelegt?

- Wurde bei Erstellung der Bestandsstatik eine Einstufung in eine Beanspruchungsklasse festgelegt und wurden für Kranbahn und ggf. für die Kranbahnunterstützungsstrukturen wie Konsolen und Kranstützen Ermüdungsnachweise geführt?
- Ist die gesamte bisherige Nutzung der Krananlage bekannt oder wurden ggf. Umnutzungen vorgenommen?
- Können durch den Betreiber der Krananlage typische Einsätze und Arbeitsspiele des Krans definiert werden, aus denen realistische Lastkollektive für die Vergrößerung der Kranbahn bestimmt werden können?

Zielsetzung sollte bei der Bewertung der bisherigen Nutzung sein, auf der sicheren Seite liegende, aber auch möglichst realistische Einstufungen der Kranbahn zu erhalten, damit eine Schädigungsberechnung für die Ermüdungssicherheit und eine Abschätzung der Restlebensdauer durchgeführt werden können. Es müssen nach Ansicht der Autoren dabei nicht zwingend die gleichen pauschalen Ansätze der Nutzung einer Krananlage wie beim Neubau angewendet werden, z. B. können Bereiche einer Kranbahn, die in der Vergangenheit weniger genutzt wurden, separat bewertet werden, was zu einer geringen Beanspruchungsklasse und zu einer höheren Lebensdauer führt. Auch müssen z. B. Katzeinstellungen bei der Nutzung nicht ungünstig, sondern können entsprechend der tatsächlichen Nutzung bei der Schädigungsberechnung angesetzt werden, falls diese durch den Betreiber sicher angegeben und bestätigt werden können (beispielhaft Bild 4). Die Anwendung solcher Ansätze kann einen deutlichen Einfluss auf die rechnerische Lebensdauer haben.

### 2.3 Ermittlung von Beanspruchungsklassen

Die Ermittlung der Beanspruchungsklasse ist üblicherweise die Basis für die Berechnung der bereits eingetretenen Schädigung  $D$  aus der Ermüdungsbeanspruchung und dient damit der Ermittlung der rechnerischen Lebensdauer bzw. Restlebensdauer einer Kranbahn und deren



**Bild 5** Vergleich Beanspruchungsklassen für Kranbahnen nach DIN 4132 und DIN EN 1991-3 [18]  
 Comparison of crane fatigue classes according to DIN 4132 and DIN EN 1991-3 [18]

Unterstützungsstrukturen. Nach DIN EN 1991-3 [16] werden Kranbahnen in die Beanspruchungsklassen S0–S9 eingestuft. Die Einstufung der Bestandskranbahnen in eine Beanspruchungsklasse ist dabei von großer Bedeutung, da bei der Schädigungs- bzw. Lebensdauerberechnung jeder Sprung in eine neue Beanspruchungsklasse eine Halbierung bzw. Verdoppelung der Lebensdauer bedeutet (Näheres s. Abschn. 2.6). Dies bedeutet, wenn eine Bestandskranbahn in eine um eine Stufe niedrigere Beanspruchungsklasse eingestuft werden kann, verdoppelt sich die rechnerische Lebensdauer.

Bei der Klassifizierung der Kranbahn sollte im Rahmen der Bestandsbewertung zuerst die Beanspruchungsklasse aus den Bestandsdokumenten – falls vorhanden – dahingehend geprüft werden, ob die Einstufung und die Nutzung (noch) passend sind. Andernfalls sollte in Abstimmung mit dem Betreiber eine Anpassung der Beanspruchungsklasse für die Bestandsbewertung und Lebensdauerabschätzung für die Kranbahn vorgenommen werden. In DIN EN 1991-3 [16] bzw. im dazugehörigen Nationalen Anhang [17] sind hierzu Empfehlungen für die Einstufung in Beanspruchungsklassen auf Basis des Verwendungszwecks vorhanden. Falls die Einstufung nach DIN 4132 [9] erfolgte, ist eine Übertragung der Beanspruchungsklassen B1–B6 nach DIN 4132 [9] auf die neuen Einstufungen S0–S9 nach DIN EN 1991-3 [16] mithilfe der Anwendung von Bild 5 möglich.

Falls möglich, empfiehlt es sich, bei Bestandskranbahnen zusätzlich die Ermittlung der Beanspruchungsklasse einer Kranbahn auf Basis der bisherigen Nutzung zu prüfen und ggf. eine neue Einstufung in Abstimmung mit dem

Betreiber durchzuführen. Dies ist möglich, falls zuverlässige Angaben über die bisherige Nutzung mit Angaben von typischen Arbeitsspielen mit zugehörigen Hublasten und deren zeitliche Abfolge vom Betreiber der Krananlage angegeben werden können. Mit diesen Angaben kann dann auf Basis von DIN EN 1991-3 [16] durch die Ermittlung der Klasse des Lastkollektivs  $Q_i$  und der Anzahl der Arbeitsspiele  $U_i$  die Beanspruchungsklasse detailliert für die Kranbahn ermittelt werden (Tab. 2). Bei dieser detaillierten Ermittlung kann dann für die Kranbahn auch eine andere Einstufung als für den Kran resultieren.

Ein detailliertes Berechnungsbeispiel, wie die Ermittlung der Beanspruchungsklasse auf Basis der Kraneinstufung allgemein vereinfacht über die Hublast durchgeführt werden kann, findet sich im Buch „Kranbahnen – Bemessung und konstruktive Gestaltung“ in der 5. Auflage [19] sowie im Beitrag „Kranbahnen im Baubestand: Bewertung, Erhaltung, Weiternutzung“ [20]. Bei Bestandskranbahnen empfiehlt es sich, falls genauere Angaben durch den Betreiber vorliegen, eine genauere Ermittlung der Beanspruchungsklasse auf Basis der aufgetretenen Spannungsschwingbreiten in den Kranbahnträgern infolge Kranbetrieb durchzuführen. Die Klasse des Lastkollektivs  $Q_i$  wird dabei über den Wert  $kQ$  mittels linearer Schadenshypothese nach *Palmgren-Miner* über die max. und min. aufgetretenen Spannungsschwingbreiten (Längsspannungen) bei Kranbetrieb und den zugehörigen Arbeitsspielen wie folgt ermittelt:

$$kQ = \left[ \sum_i \left( \frac{\Delta\sigma_i}{\Delta\sigma_{\max}} \right)^m \cdot \frac{n_i}{n_{\text{total}}} \right] \quad (1)$$

**Tab. 2** Grundlage der Klassifizierung der Beanspruchungsklasse von Kranbahnen nach DIN EN 1991-3 [16]  
 Basis of the classification of crane fatigue classes for crane runway beams according to DIN EN 1991-3 [16]

| Klasse des Lastkollektivs                |  | $Q_0$            | $Q_1$                     | $Q_2$                    | $Q_3$                  | $Q_4$                | $Q_5$               |
|--|--|------------------|---------------------------|--------------------------|------------------------|----------------------|---------------------|
|  |  | $kQ \leq 0,0313$ | $0,0313 < kQ \leq 0,0625$ | $0,0625 < kQ \leq 0,125$ | $0,125 < kQ \leq 0,25$ | $0,25 < kQ \leq 0,5$ | $0,5 < kQ \leq 1,0$ |
| Klasse der Gesamtzahl von Arbeitsspielen |  |                  |                           |                          |                        |                      |                     |
| $U_0$                                    | $C \leq 1,6 \times 10^4$                     | $S_0$            | $S_0$                     | $S_0$                    | $S_0$                  | $S_0$                | $S_0$               |
| $U_1$                                    | $1,6 \times 10^4 < C \leq 3,15 \times 10^4$  | $S_0$            | $S_0$                     | $S_0$                    | $S_0$                  | $S_0$                | $S_1$               |
| $U_2$                                    | $3,15 \times 10^4 < C \leq 6,30 \times 10^4$ | $S_0$            | $S_0$                     | $S_0$                    | $S_0$                  | $S_1$                | $S_2$               |
| $U_3$                                    | $6,30 \times 10^4 < C \leq 1,25 \times 10^5$ | $S_0$            | $S_0$                     | $S_0$                    | $S_1$                  | $S_2$                | $S_3$               |
| $U_4$                                    | $1,25 \times 10^5 < C \leq 2,50 \times 10^5$ | $S_0$            | $S_0$                     | $S_1$                    | $S_2$                  | $S_3$                | $S_4$               |
| $U_5$                                    | $2,50 \times 10^5 < C \leq 5,00 \times 10^5$ | $S_0$            | $S_1$                     | $S_2$                    | $S_3$                  | $S_4$                | $S_5$               |
| $U_6$                                    | $5,00 \times 10^5 < C \leq 1,00 \times 10^6$ | $S_1$            | $S_2$                     | $S_3$                    | $S_4$                  | $S_5$                | $S_6$               |
| $U_7$                                    | $1,00 \times 10^6 < C \leq 2,00 \times 10^6$ | $S_2$            | $S_3$                     | $S_4$                    | $S_5$                  | $S_6$                | $S_7$               |
| $U_8$                                    | $2,00 \times 10^6 < C \leq 4,00 \times 10^6$ | $S_3$            | $S_4$                     | $S_5$                    | $S_6$                  | $S_7$                | $S_8$               |
| $U_9$                                    | $4,00 \times 10^6 < C \leq 8,00 \times 10^6$ | $S_4$            | $S_5$                     | $S_6$                    | $S_7$                  | $S_8$                | $S_9$               |

Dabei ist

- $kQ$  ein Lastkollektivbeiwert für alle Arbeitsvorgänge des Krans;
- $C$  die Gesamtzahl von Arbeitsspielen während der Nutzungsdauer des Krans.

Für die Kranbahnunterstützungsstrukturen kann die Ermittlung der Beanspruchungsklasse entsprechend übertragen werden. Es kann dabei möglicherweise rechnerisch eine andere Beanspruchungsklasse als für die Kranbahn oder den Kran erhalten werden.

Da bei Kranbahnen, die als Einfeldträgerkonstruktionen ausgebildet sind, die schädigungswirksamen Längsspannungen, welche entscheidend für die Ermittlung der rechnerischen Lebensdauer sind, äquivalent über den Momentenverlauf zu den aufgetretenen Radlasten sind, kann die Berechnung des Werts  $kQ$  bei Einfeldträgern auch mittels der Radlasten entsprechend DIN EN 1991-3 [16] erfolgen:

$$kQ = \left[ \sum_i \left( \left( \frac{\Delta Q_i}{\max \Delta Q_{\Delta Q_i}} \right)^m \cdot \frac{n_i}{n_{total}} \right) \right] \quad (2)$$

### 2.3.1 Beispiel: Ermittlung der genauen Beanspruchungsklasse für eine Bestandskranbahn

Im Folgenden erfolgt eine beispielhafte Einstufung in eine Beanspruchungsklasse für eine Bestandskranbahn, bei dem der Kraneinsatz und die typischen Arbeitsspiele aus der Vergangenheit durch den Betreiber detailliert vorgegeben werden konnten. Es zeigt sich, dass – wenn der Betreiber genauere, zuverlässige Angaben zum vergangenen Kranbetrieb machen kann (z.B. dass die max. Hublast nur bei mittlerer Katzstellung verfahren wird) – ggf. eine geringere Beanspruchungsklasse und damit eine höhere rechnerische Lebensdauer erzielt werden kann.

- Gegebene Daten für die Kranbahn:
  - Ausführung der Kranbahn als Aneinanderreihung von Einfeldträgern
  - Hublast Kran 20 t
  - Planmäßige Nutzungsdauer der Kranbahn 25 Jahre
  - Anzahl der Arbeitsspiele während der Nutzungsdauer mit Hublast  $n = 1,6 \cdot 10^6$   
 Leerfahrten  $n = 1,6 \cdot 10^6$   
 Gesamt  $C = n_{tot} = 3,2 \cdot 10^6$
  - Hublastkollektiv inkl. Katzstellung (Tab. 3)
  - Die Radlasten ergeben sich wie folgt:  
 $Q_R = Q_{C,Kran} + Q_{C,Katze} + Q_{H,j}$
  - Radlasten aus dem Eigengewicht der Kranbrücke (16 t):  
 $\max Q_{C,Kran} = 40 \text{ kN}$ , unabhängig von der Katzstellung  
 $\min Q_{C,Kran} = 0 \text{ kN}$ , wenn Kran den beanspruchten Kranbahnträger verlässt
  - Radlasten aus dem Eigengewicht der Katze + Lastaufnahmemittel (1 t):  
 $\max Q_{C,Katze} = 4,5 \text{ kN}$ , ungünstige Katzstellung, z. B. ganz links  
 $\max Q_{C,Katze} = 2,5 \text{ kN}$ , mittige Katzstellung  
 $\min Q_{C,Katze} = 0 \text{ kN}$ , wenn Kran den beanspruchten Kranbahnträger verlässt
  - Radlasten bei Hublast (20 t):  
 $\max Q_{H,20} = 90 \text{ kN}$ , ungünstige Katzstellung, z. B. ganz links  
 $\max Q_{H,20} = 50 \text{ kN}$ , mittige Katzstellung  
 $\min Q_{H,20} = 0 \text{ kN}$ , wenn Kran den beanspruchten Kranbahnträger verlässt

**Tab. 3** Beispiel einer Einstufung bei möglicher Vorgabe des Beanspruchungskollektivs  
Example for the crane fatigue classification for a given spectrum of working cycles

| <i>i</i> | Hublast $H_i$   | Anteil der Arbeitsspiele $n_i$ | Arbeitsspiele $n_i$ | Fall 1: $\Delta Q_{Rj}$ | Fall 2: $\Delta Q_{Rj}$ |
|----------|-----------------|--------------------------------|---------------------|-------------------------|-------------------------|
| –        | in to           | in %                           | –                   | in kN                   | in kN                   |
| 1        | 20              | 25                             | $0,8 \cdot 10^6$    | 134,5                   | 97,5                    |
| 2        | 10              | 25                             | $0,8 \cdot 10^6$    | 89,5                    | 89,5                    |
| 3        | 0 (Lehrfahrten) | 50                             | $1,6 \cdot 10^6$    | 44,5                    | 44,5                    |
| Gesamt   | –               | 100                            | $3,2 \cdot 10^6$    |                         |                         |

Fall 1: standardmäßiger Ansatz – Katzstellung ungünstig, z.B. ganz links angesetzt

Fall 2: günstigerer Ansatz – zuverlässige Bestätigung durch den Betreiber der Krananlage, das maximale Hublast von 20 to nur bei Katzstellung mittig verfahren wurde, zur Abdeckung von Unsicherheiten wird max  $Q_{H,20}$  um 10% erhöht.

- Radlasten bei Hublast (10 t):  
 $\max Q_{H,10} = 45 \text{ kN}$ , ungünstige Katzstellung, z. B. ganz links  
 $\min Q_{H,10} = 0 \text{ kN}$ , wenn Kran den beanspruchten Kranbahnträger verlässt
- Berechnung des ermüdungsrelevanten Spannungs- bzw. Radlastspiels bei einer Überfahrt
  - $kQ = (97,5/134,5)^3 \cdot 0,25 + (89,5/134,5)^3 \cdot 0,25 + (44,5/134,5)^3 \cdot 0,5$   
 $= 0,10 + 0,07 + 0,02 = 0,19$   
 → Lastkollektivklasse  $Q_3$  nach Tab. 2
  - Ablesen der Beanspruchungsklasse aus Tab. 2 mit  $C = n_{\text{tot}} = 3,2 \cdot 10^6$   
 Beanspruchungsklasse  $S_6$
- $\max Q_{R,j} = \max Q_{C,Kran} + \max Q_{C,Katze} + \max Q_{H,j}$ , wobei  $\max Q_{C,Katze} + \max Q_{H,20}$  abhängig von der Katzstellung, bei Leerfahrten ist  $\max Q_{H,j} = 0$
- $\min Q_{R,j} = \min Q_{C,Kran} + \min Q_{C,Katze} + \min Q_{H,j} = 0$ , wenn Kran den beanspruchten Kranbahnträger verlässt
- $\Delta Q_{R,j} = \max Q_{R,j} - \min Q_{R,j}$

Die Berechnung des Lastkollektivs  $kQ$  und die Beanspruchungsklasse ergeben sich für die Kranbahn wie folgt:

- Fall 1: Standardvorgehen – ungünstiger Ansatz
  - $kQ = \left[ \sum_i \left( \left( \frac{\Delta Q_i}{\max \Delta Q_i} \right)^m \cdot \frac{n_i}{n_{\text{total}}} \right) \right]$   
 $kQ = (134,5/134,5)^3 \cdot 0,25 + (89,5/134,5)^3 \cdot 0,25 + (44,5/134,5)^3 \cdot 0,5$   
 $= 0,25 + 0,07 + 0,02 = 0,34$   
 → Lastkollektivklasse  $Q_4$  nach Tab. 2
  - Ablesen der Beanspruchungsklasse aus Tab. 2 mit  $C = n_{\text{tot}} = 3,2 \cdot 10^6$   
 Beanspruchungsklasse  $S_7$

- Fall 2: günstigerer Ansatz – teilweise mit Katzstellung mittig, falls dies durch den Betreiber sicher bestätigt werden kann

$$kQ = \left[ \sum_i \left( \left( \frac{\Delta Q_i}{\max \Delta Q_i} \right)^m \cdot \frac{n_i}{n_{\text{total}}} \right) \right]$$

Hinweis: bei der Berechnung ist max  $Q_i$  ebenfalls 134,5 kN zu verwenden.

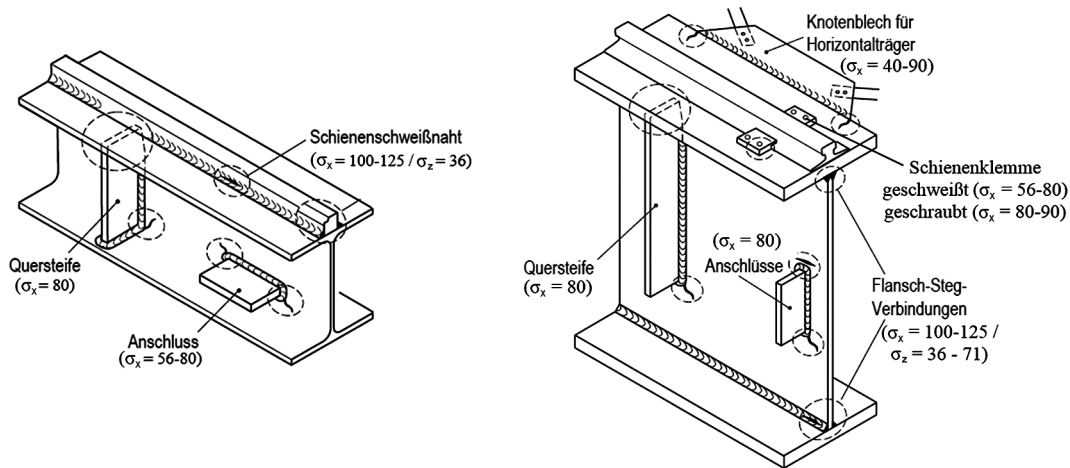
## 2.4 Zustandserfassungen im Bestand (Inspektion)

Das Erfordernis, Kranbahnen während ihrer planmäßigen Nutzungsdauer zu inspizieren, ist in Abschn. 1.3 erläutert. Bei einer geplanten Weiternutzung einer Kranbahn nach Ablauf der festgelegten Lebensdauer ist eine Inspektion auf jeden Fall erforderlich.

Abgesehen von der Gesamtanzahl der Inspektionen, welche von dem gewählten Sicherheitsniveau der Ermüdungsfestigkeit abhängen (Abschn. 1.3), enthalten die Bemessungsnormen keine Hinweise z. B. zu

- Umfang und Durchführung von Inspektionen,
- Abständen zwischen den jeweiligen Inspektionsintervallen,
- erforderlichen Prüfungen nach Überschreitung der geplanten Nutzungsdauer,
- Qualifikation des Prüfpersonals,
- Dokumentation.

Mit dem Erscheinen der „BFS-RL 07-104 Inspektion von Kranbahnträgern nach DIN EN 1993-6/NA“ [8] im Jahr 2018 wurde den Planern und Betreibern ein Leitfaden an die Hand gegeben, welcher diese Lücke schließt und konkretere Vorschläge an die Vorbereitung, Durchführung und Dokumentation der Inspektion der Kranbahnträger im Sinne von DIN EN 1993-6 [6] und dem zugehörigen Nationalen Anhang [7] enthält. Diese Richtlinie ist daher als Ergänzung zur VDI 6200 [1] anzusehen. Weitere detaillierte Informationen zur Durchführung einer Inspektion von Bestandskranbahnen können [21] entnommen werden.



**Bild 6** Auszug ermüdungskritischer Konstruktionsdetails von Kranbahnen aus [8] mit Ergänzung der Ermüdungsfestigkeiten  $\Delta\sigma_C$  in N/mm<sup>2</sup> nach EN 1993-1-9 [22]  
Summary of fatigue critical construction details for crane runway beams out of [8] including fatigue strength  $\Delta\sigma_C$  in N/mm<sup>2</sup> according to EN 1993-1-9 [22]



**Bild 7** a) Beispielhafte stark verschmutzte Bestandskranbahn, b) zur Inspektion gereinigte Kranbahn  
a) Example of strongly contaminated existing crane runway beam, b) before inspection cleaned crane runway beam

Gemäß Nationalem Anhang zu EN 1993-6 [7] soll durch einen Ermüdungsnachweis in Verbindung mit der geforderten Anzahl an Inspektionen die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Rissen infolge Materialermüdung begrenzt werden. Unter einer Inspektion der Kranbahnträger wird daher vorrangig eine Überprüfung der Kranbahnträger auf Risse verstanden. Folglich bilden Konstruktionsdetails mit der größten Kerbwirkung an Stellen mit großer Beanspruchung den Schwerpunkt einer Inspektion.

Typische kritische Stellen für das Auftreten von Rissen an Kranbahnträgern sind in Bild 6 schematisch zusammen mit den zugehörigen Kerbfällen  $\Delta\sigma_C$  nach EN 1993-1-9 [22] dargestellt. Weitere ermüdungskritische Konstruktionsdetails von Kranbahnen sind z.B. die Auflagerkonstruktionen inkl. Konsolen, unterbrochen angeschweißte Schienen sowie die Längsnähte von Kranbahnträgern mit Winkelverstärkungen am Obergurt [8, 19, 23].

Bei der Durchführung einer Inspektion ist der Istzustand der Kranbahnträger und Kranschiene zu begutachten und die Abweichungen vom Sollzustand sind zu erfassen. Als vorbereitende Maßnahme werden die kritischen Konstruktionsdetails auf Basis der statischen Berechnung und Bestandsunterlagen identifiziert. Diese Aufgabe sollte in

Abstimmung mit dem Tragwerksplaner und dem Kranbetreiber erfolgen, welche die notwendige Kenntnis über den Beanspruchungszustand und die kritischen Stellen der Konstruktion und ggf. vorhandenen Vorschädigungen verfügen.

Es wird eine stufenweise Inspektionsdurchführung empfohlen. Im ersten Schritt sollten die Kranbahnträger und Kranschiene, inkl. sämtlicher Anschlüsse, über die gesamte Länge mit einer allgemeinen Prüfung insbesondere auf folgende Auffälligkeiten handnah visuell inspiziert werden:

- Übereinstimmung der Bestandskonstruktion mit den Ausführungsunterlagen (nicht berücksichtigte Kerbdetails durch nachträglich angebrachte Bauteile wie z.B. Stromleitungen, Bühnenträger, sonst. Halterungen)
- visuell erkennbare Risse in der Stahlkonstruktion (insbesondere an Schweißnahtübergängen an kritischen Konstruktionsdetails)
- visuell erkennbare Rissbildung an zuvor reparierten Schäden
- Korrosion
- Beschädigungen in Form von Riefen, Bohrungen, Brennschnitten etc.
- lokale Verformungen, Beulen

- fehlende oder schadhafte Schrauben und Muttern, Klemmen
- unzulässige Spalte zwischen verschraubten Bauteilen
- einseitige Schienenabnutzung
- starke Abnutzung der Schienenlauffläche
- Schienenbrüche
- Verformungen an Stützenprofilen (z. B. durch Anprall pendelnder Lasten)
- Kranaustausch oder Ergänzung eines zweiten Krans auf derselben Kranbahn

Die Auflagerkonsolen der Kranbahnträger, inkl. der Schweißanschlüsse der Konsole an Stützen, Horizontalverbände und Anprallpuffer, aber auch die Stützen selbst sollten grundsätzlich in die Prüfung mit einbezogen werden.

Es sei zu erwähnen, dass die allgemeine Sichtprüfung eine gründliche Reinigung der Konstruktion voraussetzt, bei welcher sämtliche betriebsbedingte Ablagerungen, Rost, lose Farbe, Öle, Schmutz etc. beseitigt werden, durch die Schäden ggf. unentdeckt bleiben könnten (beispielhaft Bild 7).

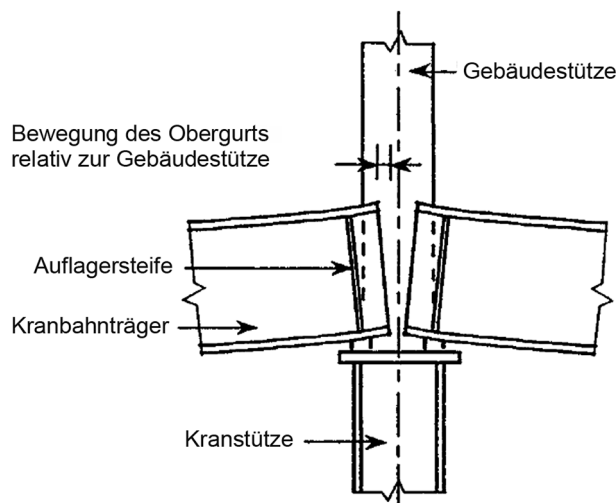
Während der Inspektion sind alle Auffälligkeiten mit klarer Zuordnung zu ihrer Position am Bauwerk in einem Bauzustandsbericht zu dokumentieren (Skizzen, Fotos, Beschreibung) und am Bauwerk zu kennzeichnen. Nach Meinung der Autoren sollte die allgemeine Sichtprüfung durch eine besonders fachkundige Person im Sinne von VDI 6200 [1] geleitet werden, welche mit der Auslegung von Kranbahnträgern gut vertraut ist und über die erforderlichen Kenntnisse verfügt, die Inspektionen vorzubereiten, durchzuführen und die Ergebnisse zu beurteilen.

Werden bei der allgemeinen Prüfung lose oder beschädigte Schrauben oder sonstige Schäden wie Risse festgestellt (Abschn. 2.5), muss in Abstimmung mit dem Tragwerksplaner geklärt werden, ob ein sicherer Weiterbetrieb der Kranbahn noch möglich ist oder zuerst Reparatur- und Sicherungsmaßnahmen vorzunehmen sind.

Im zweiten Schritt der allgemeinen Inspektionsempfehlung empfiehlt sich

- die Prüfung nicht planmäßig vorgespannter Schraubenverbindungen auf festen Sitz der Mutter,
- die Kontrolle der Vorspannung bei planmäßig vorgespannten Schraubenverbindungen und
- die Vermessung der Schiene hinsichtlich Einhaltung von Toleranzen.

Bei Verdacht von Rissen sollte in einem dritten Schritt eine Oberflächenrissprüfung mit einem geeigneten Verfahren (z. B. Magnetpulver- oder Farbeindringprüfung) an der betroffenen Stelle durchgeführt werden. Die Oberflächenrissprüfung darf nur von Personal durchgeführt werden, welches die entsprechende Zertifizierung nach DIN EN ISO 9712 [24] für das entsprechende Prüfverfahren besitzt. Sollte sich der Verdacht auf Risse bestä-

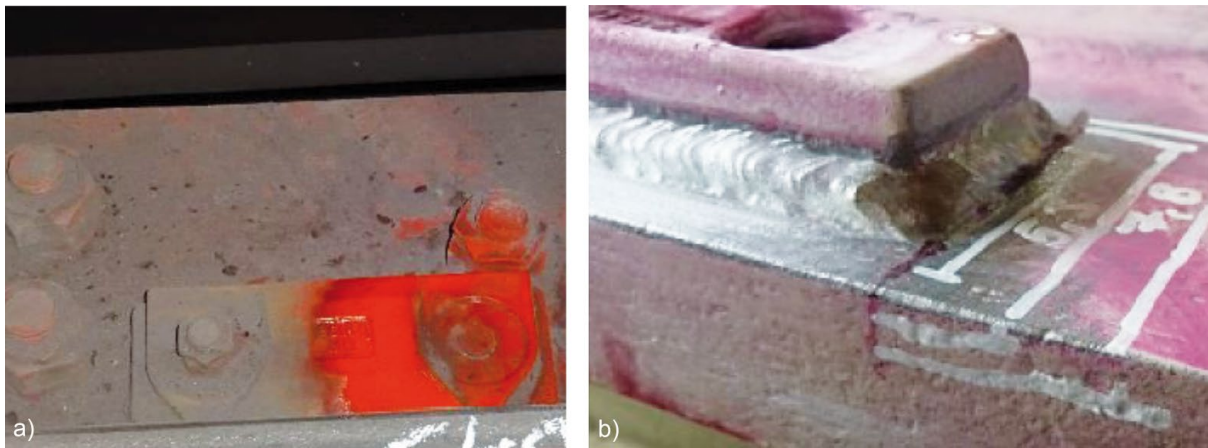


**Bild 8** Bewegung aus der Endrotation des Obergurts von Kranbahnträgern bei Belastungen aus dem Kranbetrieb [6]  
Movements generated by the end rotation of the top flange of a crane runway beam [6]

tigen, wird empfohlen, den Prüfumfang dieser vertieften Prüfung auf das entsprechende Konstruktionsdetail an allen weiteren Stellen der Kranbahnträger auszuweiten, um festzustellen, ob der festgestellte Riss eine Ausnahme dargestellt. Zusätzlich sollte diese vertiefte Prüfung bei Kranbahnen, die bereits länger in Betrieb sind, z. B. im letzten Drittel der festgelegten Lebensdauer stichprobenartig an einer geeigneten Anzahl ausgewählter, ermüdungskritischer Schweißdetails durchgeführt werden. Am Ende der festgelegten Lebensdauer sollte der vertiefte Prüfungsumfang an kritischen Konstruktionsdetails erhöht werden, wenn ein Weiterbetrieb beabsichtigt ist.

In der Praxis gestaltet sich die Realisierung einer durchgehenden Inspektion von Kranbahnträgern in den meisten Fällen als sehr schwierig. Produktionsbedingte Prozesse und schwierige Zugänglichkeiten erschweren den Inspektionsablauf. In solchen Fällen empfiehlt es sich, die zu inspizierenden Konstruktionsdetails im Hinblick auf die Schadensfolge und Schadensauftretswahrscheinlichkeit zu kategorisieren und beginnend mit der höchsten Prioritätsstufe abzuarbeiten. Die Festlegung der Reihenfolge sollte auf Basis einer Schädigungsberechnung für die einzelnen kritischen Konstruktionsdetails entsprechend Abschn. 2.6 erfolgen.

Schädigungen im Bereich der Auflager der Kranbahnträger bilden nach Erfahrung der Autoren einen größeren Teil der Schäden an Bestandskranbahnen. Ursache hierfür ist in der Regel die Tatsache, dass im Rahmen der statischen Berechnung die Auflager der Kranbahnen gelenkig modelliert werden. In diesem Falle entsteht eine Bewegung des Obergurts des Kranbahnträgers relativ zur Gebäudestütze bei Belastungen aus dem Kranbetrieb (Bild 8). Wurden diese statischen Modellvorgaben konstruktiv in der Bestandskranbahn nicht in gleicher Weise umgesetzt, kommt es bei Belastungen zu Zwangsbeanspruchungen in Kranbahn und Auflagerkonstruktion. In Abhängigkeit von der konstruktiven Umsetzung, dem



**Bild 9** Beispielhafte Schäden: a) abgebrochene Schraubverbindung an Schienenklemme, b) Riss im Kranbahnträger an aufgeschweißter Klemmverbindung beim Ermüdungsversuch [25]

Examples for damages: a) broken bolt at rail fixing, b) crack in crane runway beam close to rail fixing during fatigue test [25]

statischen System und dem Kranbetrieb kann es dadurch zu Ermüdungsschäden wie Rissen an den Schweißnähten oder zum Lösen bzw. Abreißen von Schraubverbindungen kommen.

Im Hinblick auf die Lagesicherheit der Kranbahnträger erscheint es aus Sicht der Autoren daher sinnvoll, die Inspektion an den Auflagerpunkten zu beginnen. Anschließend können z. B. die Schweißdetails beginnend mit dem Detail mit der größten Kerbwirkung (z. B. Schiene/Obergurt, Quersteife/Obergurt, Halsnaht zw. Obergurt/Steg etc.) abgearbeitet werden.

## 2.5 Typische Schadensbilder bei Bestandskranbahnen und -kranhallen

Im folgenden Abschnitt werden typische Schadensbilder bestehender Kranbahnen beispielhaft aufgeführt.

### 2.5.1 Kranschienen

Kranschienen sind insbesondere im Hinblick auf Einhaltung zulässiger Toleranzen und Verschleiß zu inspizieren. Neben der Abnutzung des Schienenkopfs – was im eigentlichen Sinne nicht als Schaden, sondern als Verschleiß verstanden wird – werden häufig insbesondere lokale, einseitige Abnutzungen der Schienen durch Radkränze, unzulässige Höhen- und Seitenversätze an unverschweißten Schienenstößen und plastische Verformungen an den schräg gestoßenen Schienenenden festgestellt.

Darüber hinaus können auch Schädigungen an der Schienenbefestigung bei aufgeklemmten Kranschienen auftreten, z. B. durch Lösen oder Abscheren von Klemmverbindungen oder durch Rissbildung am Obergurt der Kranbahnträger bei aufgeschweißten Klemmverbindungen (Bild 9).

### 2.5.2 Korrosion

In den meisten Fällen werden Kranbahnen in wettergeschützten Hallen betrieben und keinen nennenswerten Korrosionsbeanspruchungen ausgesetzt. In solchen Fällen kommt es i. d. R. zu Ablagerung korrodierter Stahlpartikel aus Schienenabrieb auf den Kranbahnträgern oder Korrosionserscheinungen an rohen Schienenbefestigungen, Schienen und Futterblechen aufgrund der Reaktion mit der Umgebungsluft, welche zu keiner Beeinträchtigung der Funktion führen. Im Freien oder in korrosiven Umgebungen betriebene Kranbahnen weisen die im Stahlbau typischen Korrosionsschäden auf, welche insbesondere an Spalten, Kanten und Verbindungsmitteln vorgefunden werden. Teilweise kann es bei falschem Korrosionsschutz auch zu großflächigen Korrosionsschäden kommen (Bild 10). Die zulässigen Spannungen gemäß DIN 4132 [9] bzw. Spannungsschwingreiten gemäß DIN EN 1993-1-9 [22] setzen voraus, dass keine Querschnittsminderungen oder Oberflächenkerben durch Korrosion auftreten. Korrosionsschäden sind folglich in die Bewertung der Nutzungsdauer einer Kranbahn mit einzubeziehen.

### 2.5.3 Lose Schrauben

Durch geringe horizontale Relativbewegungen zwischen den verschraubten Bauteilen kann es zum selbsttätigen Lösen der Muttern kommen. Um dies zu vermeiden, sollten Schraubverbindungen an Kranbahnträgern als gleitfeste Verbindungen, ggf. mit Passschrauben, ausgeführt werden, was allerdings in der Planung oft missachtet wird oder bei der Montage nicht erwünscht ist. Dies führt zum Lösen selbst bei hochfesten, vorgespannten Schraubengarnituren in Verbindungen mit normalem Lochspiel. Häufig werden lose Schrauben mit eingebauten Sicherungselementen wie Federringe, Pal-Muttern oder Doppelmuttern vorgefunden, welche offensichtlich wirkungslos für den Anwendungsfall sind und nach dem aktuellen Stand der Normung daher nicht mehr eingesetzt werden dürfen.



**Bild 10** Großflächiger Korrosionsschaden an einem Stahlträger  
Large area of corrosion at a steel beam

Setzeffekte der verspannten Bauteile und Beschichtung sowie Relaxation des Schraubenwerkstoffs führen zum Abfall der Vorspannung und Lockern vorgespannter Schraubenverbindungen. Dieses Phänomen ist auf eine relativ dicke Korrosionsschutzbeschichtung in der Kontaktfuge sowie unter der Schraubenkopf- und Mutterauflagefläche, auf zu geringe Montagevorspannkraften oder auf klaffende Fugen zwischen den Bauteilen zurückzuführen.

#### 2.5.4 Abgerissenen Schrauben

Ein Abfall der Schraubenvorspannung, z. B. aus Setzeffekten, erhöht bei Kranbetrieb die einwirkende Spannungsschwingbreite bei Schrauben, die durch Axialkräfte beansprucht werden, und führt zum vorzeitigen Ermüdungsversagen des Schraubenquerschnitts.

Montagetoleranzen an Auflagern der Kranbahnträger werden i. d. R. durch Futterblechpakete ausgeglichen. Häufig werden diese ohne Vorbinden in den Schraubverbindungen angeordnet. Bei Auftreten von Scherkräften in der Schraubverbindung erfährt die Schraube indirekt eine Biegebeanspruchung, wodurch es oftmals zum Anriss oder Bruch am Schaft-Kopf-Übergang oder Schaft-Mutter-Übergang kommt.

#### 2.5.5 Rissbildung

Rissbildung tritt i. d. R. an Konstruktionsdetails mit hoher Kerbwirkung auf (Bild 9b). Typische Vertreter sind z. B. unterbrochene Kehlnähte bei aufgeschweißten Kranschiene, aufgeschweißte Schienenklemmen, Schweißanschlüsse von Querstreifen und Anschlusslaschen am Obergurt sowie die Schweißnähte zwischen Steg und Obergurt bei geschweißten Kranbahnträgern (siehe Bild 6). Üblicherweise entstehen Anrisse an Schweißnahtübergängen oder Wurzel, die sich langsam in den Grundwerkstoff fortpflanzen. Aufgrund ihrer Breite, eingeschränkter Lichtverhältnisse und Verschmutzung der Oberfläche können Risse mit freiem Auge oft nur erahnt werden. Bei Verdacht von Rissen sollte daher eine Ober-



**Bild 11** Unsachgemäße Ausnehmung an einer Kranbahnträgerhorizontalhalterung  
Inappropriate execution at a horizontal fixing of a crane runway beam

flächenrissprüfung mit einem geeigneten Verfahren (z. B. Magnetpulver- oder Farbeindringprüfung) durchgeführt werden (Abschn. 2.4).

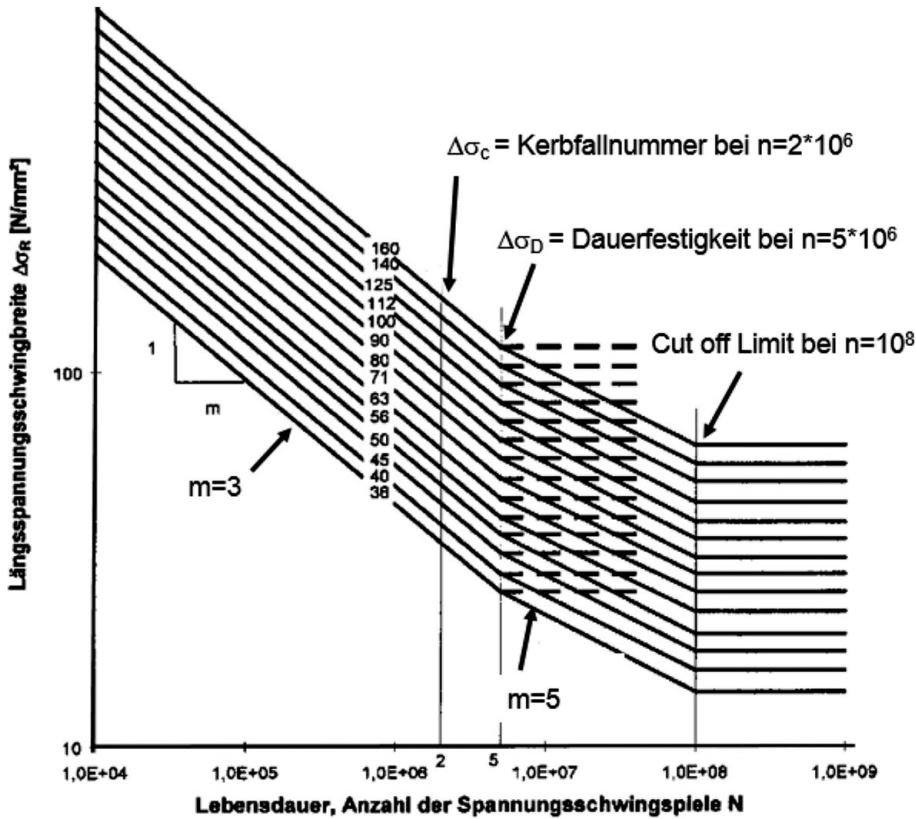
#### 2.5.6 Abweichende Ausführung

Im Laufe der Betriebszeit werden nicht selten ohne Abstimmung mit dem Tragwerksplaner nachträglich Veränderungen an Kranbahnträgern vorgenommen, indem z. B. konstruktive Anbauteile wie Halterungen für Stromschiene, Rohrleitungen oder Wartungsstege angebracht oder lokale Aussparungen mit bleibenden Brennschnittkanten hergestellt werden (Bild 11). Für die Tragfähigkeit der Konstruktion im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT) sind diese i. d. R. nicht von größerer Bedeutung, jedoch muss durch den Tragwerksplaner geprüft werden, ob diese zusätzlich eingebrachten Kerbdetails die vorgesehene Lebensdauer der Kranbahnträger infolge der Ermüdungsbeanspruchung aus dem Kranbetrieb negativ beeinflussen.

In dem Zusammenhang entspricht die Ausführungsqualität der Schweißnähte der Anbauteile oder der Brennschnittkanten oft nicht den Anforderungen gemäß DIN EN 1090-2 [26]. Die Konstruktionsdetails können daher nicht in einen Kerbfall nach DIN EN 1993-1-9 [22] eingestuft werden, sodass eine Schädigungs- bzw. Lebensdauerberechnung für die Bestandskranbahn nicht mehr möglich ist.

#### 2.5.7 Konstruktiv schlechte Umsetzung

In vielen Fällen wird die konstruktive Ausführung gelenkiger Endauflager von Kranbahnträgern den Annahmen in der Statik nicht gerecht (siehe auch Abschn. 2.4). Oft werden die Kranbahnträger in Längsrichtung an allen Auflagern durch Schrauben fest an die Konsolen angeschlossen. Dabei können bei langen Kranbahnen Zwängungskräfte aus Längenänderung der Kranbahnträger in-



**Bild 12** Wöhlerlinien für Kerbdetails mit Normalspannungen nach DIN EN 1993-1-9 [22]  
 Wöhlercurves for construction details according to DIN EN 1993-1-9 [22]

folge Temperatur sowie aus Interaktion mit dem Gebäudetragwerk (aufgrund Kopplung der Stützen) entstehen, welche zu Deformation und Abscheren von Schrauben zwischen Kranbahnträger und Konsolen führen können.

Bei einer zwei- oder mehrfeldrigen Ausbildung von Kranbahnträgern können zusätzlich, aufgrund möglicher horizontaler Steifigkeitsunterschiede der Gebäuderahmen (bzw. Rahmen und Giebelwand), Kräfte aus Wind und Gebäudeimperfektion in den Kranbahnträgern und den festen Auflageranschlüssen entstehen.

Des Weiteren wird die vertikale und horizontale Rotation der Kranbahnträger an den Auflagern teilweise konstruktiv nicht beachtet (Bild 8). Auch werden Kranbahnträgerobergurte zum Teil über kurze, horizontal angeordnete Laschen mittels Schweißnähten oder mehrerer Schrauben an die Stütze angeschlossen. Durch die Rotation der Träger wird dadurch eine gewisse Zwangsbeanspruchung an den Kranbahnträgerauflagern erzeugt, welche eine Überbeanspruchung und Rissbildung in Laschen und Schweißnähten infolge der Ermüdungsbeanspruchung aus dem Kranbetrieb zur Folge haben kann. Bei ungünstiger Anordnung der Schrauben am Anschluss der Kranbahnträger an die Konsolen kann es aufgrund der Auflagerrotation der Kranbahnträger infolge der vertikalen Radlasten zur Ausbildung eines Kräftepaars und Zugbeanspruchungen in den Schraubverbindungen kommen [27]. Zum Teil sind diese Schraubverbindungen nicht vorgespannt, sodass diese aufgrund der dann entstehenden großen Spannungsschwingbreiten durch Materialer-

müdung frühzeitig versagen. Empfehlenswerte und nicht empfehlenswerte Ausführungsbeispiele sind sehr übersichtlich in den seit 2018 erhältlichen Empfehlungen des Arbeitsausschusses Technisches Büro des Deutschen Stahlbau-Verbandes, veröffentlicht von bauforumstahl [27], enthalten.

## 2.6 Schädigungsberechnung und rechnerische Lebensdauerermittlung

Auf Basis der Festlegung der Beanspruchungsklasse (Abschn. 2.3) und des Abgleichs der Bestandsaufnahme (Abschn. 2.4) kann für eine Bestandskranbahn eine Schädigungsberechnung für die Ermüdungsbeanspruchung erfolgen, welche die Grundlage für die Bestimmung der rechnerischen Lebensdauer bzw. Restlebensdauer der Kranbahn ist. Es ist zu empfehlen, die Schädigungsberechnung auf Basis der Eurocode-Normen mit EN 1993-1-9 [22] durchzuführen, da in dieser Norm die Kerbfälle der einzelnen Konstruktionsdetails deutlich feiner und genauer entnommen werden können (Bild 12) als z.B. aus der Vorgängernorm DIN 4132 [9]. DIN EN 1993-1-9 [22] gibt hierbei 14 verschiedene Kerbfalleinstufungen für eine Vielzahl von Konstruktionsdetails von  $\Delta\sigma_C = 40 \text{ N/mm}^2$  bis  $\Delta\sigma_C = 160 \text{ N/mm}^2$  vor. Die Werte beziehen sich auf  $2 \cdot 10^6$  Spannungsschwingspiele bei einer Überlebenswahrscheinlichkeit von ca. 95%.

Die Ermittlung der rechnerischen Schädigung  $D_i$  aus der Ermüdungsbeanspruchung am Ende der festgelegten

Lebensdauer auf Basis von EN 1993-1-9 ergibt sich wie folgt:

$$D_i = \left[ \frac{(\gamma_{FF} \cdot \Delta\sigma_{E,2})}{(\Delta\sigma_C / \gamma_{MF})} \right]^3 \quad (3)$$

Eine detaillierte Beschreibung der Vorgehensweise zur Berechnung der verbrauchten Nutzungskapazität und der Restlebensdauer kann dem Beitrag „Kranbahnen im Baubestand: Bewertung, Ertüchtigung, Weiternutzung“ [20] entnommen werden.

Insbesondere die Bestimmung der kritischen Kerbdetails mit Festlegung der Ermüdungsfestigkeit  $\Delta\sigma_C$  (Kerbfallnummer) ist dabei von großer Bedeutung. Kann z. B. ein Konstruktionsdetail um eine Kerbfallnummer höher eingestuft werden, führt dies zu einer um ca. 11–14% höheren Ermüdungsfestigkeit; der Exponent  $m = 3$  in der Gl. (3) führt zu einer Erhöhung der rechnerischen Lebensdauer von ca. 37–50%. Ergänzend dazu wird nochmals darauf hingewiesen, dass der Einfluss der festgelegten Beanspruchungsklasse auf die rechnerische Lebensdauer noch höher ist. Jede um eine Stufe niedrigere Beanspruchungsklasse führt zu einer Verdoppelung der rechnerischen Lebensdauer (Abschn. 2.3).

## 2.7 Bewertung von Lebensdauerberechnung und Bestandsaufnahme

Die Bewertung der rechnerischen Lebensdauerberechnung und der Bestandsaufnahme lässt sich abhängig von den erhaltenen Ergebnissen wie folgt unterteilen.

### 2.7.1 Schädigungssumme $D_i < 100\%$ + keine vorgefundenen Schäden

Eine Kranbahn befindet sich unter Voraussetzung einer ordnungsgemäßen Inbetriebnahme im regulären und sicheren Betrieb, wenn im Rahmen von durchgeführten Inspektionen keine Schädigungen festgestellt wurden und wenn bei der Schädigungsberechnung am ungünstigsten Konstruktionsdetail die Schädigungssumme  $D_i < 100\%$  ist. Ein sicherer Weiterbetrieb ist bis zur nächsten Inspektion bzw. bis zum Erreichen der rechnerischen Lebensdauer möglich.

### 2.7.2 Schädigungssumme $D_i > 100\%$ + keine vorgefundenen Schäden

Schädigungen infolge einer Ermüdungsbeanspruchung unterliegen deutlichen Streuungen. Die Streuungen sind viel höher als bei Schädigungen aus statischen Beanspruchungen. Dies bedeutet, wenn die Kranbahn die rechnerische Lebensdauer erreicht hat, müssen nicht unmittelbar Ermüdungsschäden auftreten, die durch Rissbildung sofort erkennbar sind. Es liegen aber infolge Ermüdungsbeanspruchung nicht sicht- und messbare

Mikroschädigungen im Gefüge vor. Bei Weiternutzung der Kranbahn nach Ende der rechnerischen Lebensdauer steigt die Gefahr einer Rissbildung und damit ein Unterschreiten des Sicherheitsniveaus deutlich. Für einen sicheren befristeten Weiterbetrieb sind daher weitere Überlegungen und Maßnahmen durchzuführen, wie z. B. eine Verbesserung der Kerbfallgruppe von kritischen Kerbdetails oder der Festlegung der Intervalle von weiteren Inspektionen.

### 2.7.3 Schädigungssumme $D_i < 100\%$ + vorhandene Schäden

Voraussetzung für einen sicheren Weiterbetrieb sind eine fachgerechte Schadenssanierung sowie die Bewertung der vorgefundenen Schäden und insbesondere die Feststellung der Schadensursache. Eine statische Bewertung sowie die Festlegung des Zeitpunkts für die erforderliche Sanierung durch Einbindung des Tragwerksplaners sind dabei unerlässlich. Falls der Kran als Schadensursache infrage kommt, ist der Kranhersteller mit einzubeziehen.

Wurden Ermüdungsschäden an der Kranbahn festgestellt, ist zu klären, ob die Ursache ggf. aus einer ungünstigen konstruktiven Umsetzung von Detailpunkten oder ggf. von Montage- und Fertigungsmängeln herrührt und inwieweit eine Sanierung möglich ist. Es kann im ungünstigen Fall aber auch sein, dass es aufgrund der großen Streuungen bei den Ermüdungsbeanspruchungen bereits vor dem Ende der rechnerischen Lebensdauer zu einer Schädigung der Kranbahn durch Rissbildung kommen kann. Treten Ermüdungsrisse an der Kranbahn allerdings bereits deutlich vor dem Ende der rechnerischen Lebensdauer auf, können die Streuungen bei Ermüdungsbeanspruchungen im Allgemeinen nicht ursächlich sein.

### 2.7.4 Schädigungssumme $D_i > 100\%$ + vorhandene Schäden

Hier gelten die gleichen Überlegungen wie unter Abschn. 2.7.3. Ist die Ermüdungsbeanspruchung aus dem Kranbetrieb die Ursache für die vorhandenen Schäden, so ist ein Weiterbetrieb der Kranbahn nur möglich, wenn die kritischen Kerbdetails saniert und verbessert werden. Es ist allerdings davon auszugehen, dass ein sicherer Weiterbetrieb der Kranbahn nur zeitweise möglich und eine Verstärkung bzw. der komplette Austausch der Kranbahn unerlässlich ist.

Für einen kurzzeitigen sicheren Weiterbetrieb vor der fachgerechten Sanierung der Schäden ist der Tragwerksplaner bzw. sind Experten im Bereich der Ermüdung mit einzubeziehen. Ein engmaschiges Inspektionsprogramm mit einer Beobachtung des Risswachstums ist dabei unerlässlich. Gegebenenfalls sind ergänzende bruchmechanische Untersuchungen zur Bestimmung des möglichen Risswachstums infolge des Kranbetriebs und der Festlegung kritischer Rissgrößen durchzuführen (Abschn. 3.7).

### 3 Mögliche Maßnahmen zum Weiterbetrieb

#### 3.1 Allgemeine Überlegungen

Nach Ablauf der geplanten Betriebsdauer oder bei geplanter geänderter Nutzung einer Krananlage, aber auch bei der Feststellung von Schäden im Rahmen von durchgeführten Inspektionen, stellt sich die Frage, ob ein sicherer Weiterbetrieb der Kranbahn möglich ist. Es können aber auch bei Nachbewertungen nach neuen Normen, z.B. aufgrund von Umnutzungen oder Umbaumaßnahmen, Überschreitungen bei den Nachweisen im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT) oder im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG) bei der Kranbahn und auch bei den Kranbahnunterstützungsstrukturen wie Konsolen und Kranhalle auftreten.

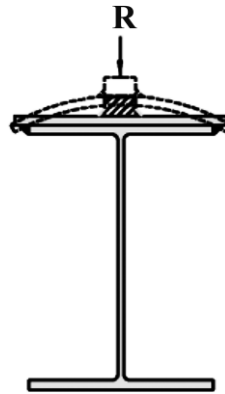
Aufgrund von betrieblichen Prozessen gestaltet sich ein Kompletttausch der Kranbahnen oft als sehr schwierig. Aus diesem Grund ist man bestrebt, die vorhandenen Konstruktionen durch genauere Nachweisverfahren und erhöhten Inspektionsaufwand (Beobachtung) zeitweise weiterzubetreiben. Dieser gewonnene Zeitraum sollte genutzt werden, um einen erforderlichen Kompletttausch der Kranbahn oder lokale Verstärkungsmaßnahmen in Ruhe planen und vorbereiten zu können, um nicht einen abrupten Stillstand hervorzurufen, der dann möglicherweise mit Produktionsausfall und hohen finanziellen Verlusten einhergehen würde.

#### 3.2 Verstärkung der Konstruktion

Bei Überschreitung zulässiger Beanspruchungen im GZT oder GZG besteht die Möglichkeit, den Querschnitt der Kranbahnen an den maßgebenden Stellen lokal z.B. durch angeschweißte oder mittels Passschrauben angebrachte Bleche oder Profile zu verstärken. Die Verstärkungen haben natürlich auch einen positiven Effekt auf die Ermüdungsnachweise, da die Spannungsschwingbreiten aus dem Kranbetrieb hierdurch reduziert werden. Voraussetzung ist, dass hier keine ungünstigen Kerbdetails in die Konstruktion eingebracht werden. Geschweißte Querschnitte wie in Bild 13 sind als Verstärkungsmaßnahme zu vermeiden, da die Gefahr besteht, dass *kein* Kontakt zwischen den Querschnittsteilen vorhanden ist. Es kommt dadurch aus den Radlasten zu hohen Querbeanspruchungen in den Schweißnähten, was zu verfrühten Ermüdungsschäden führen kann.

#### 3.3 Lasten aus dem Kranbetrieb reduzieren

Lasten lassen sich teilweise auch infolge eines Umbaus oder Austauschs der Krananlage reduzieren. Weitere Einzelheiten können dem Beitrag „Kranbahnen im Baubestand: Bewertung, Ertüchtigung, Weiternutzung“ [20] entnommen werden.



**Bild 13** Beispiel einer zu vermeidenden Verstärkungsmaßnahme [23]  
Example of a strengthening measurement, which has to be avoided [23]

#### 3.4 Verbessern der Ermüdungsfestigkeit von Konstruktionsdetails

In vielen Fällen wird jedoch die Lebensdauer der Kranbahnen durch die Ermüdung des Materials bestimmt, welche von der Kerbwirkung der Details abhängt. Gemäß DIN EN 1993-1-9 [22] weisen dabei geschweißte Konstruktionsdetails, insbesondere mit Kehlnähten, sehr geringe ertragbare Spannungsspielzahlen auf, für welche die Rissentstehung am Schweißnahtübergang aufgrund der geometrischen Kerbschäfte und hohen Zugeigenspannungen charakteristisch ist.

##### 3.4.1 Reduzierung der Kerbschärfe

Bei einigen Kerbdetails lässt sich die Ermüdungsfestigkeit durch die Reduzierung der Kerbschärfe, z.B. durch Überschleifen der Schweißnähte oder Anbringen von Ausrundungsradien, bereits durch Anwendung von DIN EN 1993-1-9 [22] deutlich verbessern. Der Zusammenhang zwischen Verbesserung der Ermüdungsfestigkeit und Erhöhung der Lebensdauer ist beispielhaft für eine seitlich am Obergurt angeschweißte Lasche in Tab. 4 aufgezeigt (siehe auch Abschn. 2.6).

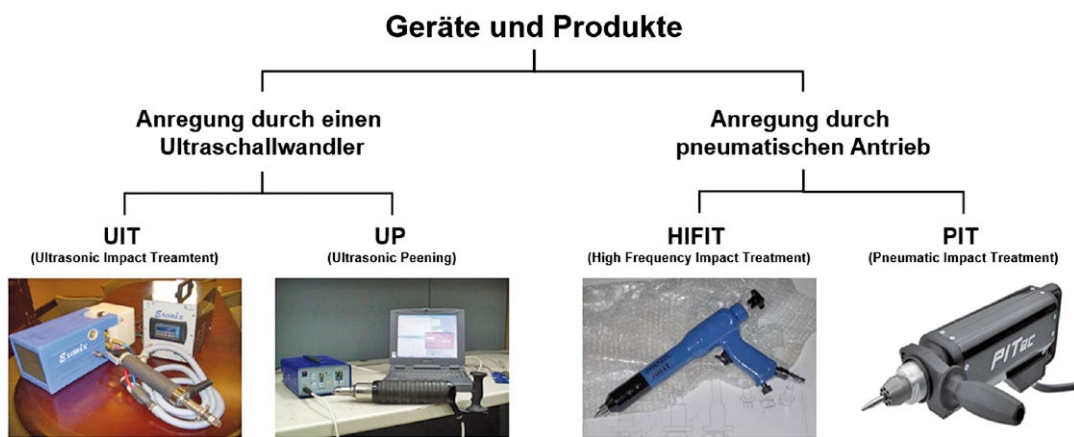
##### 3.4.2 Nachbehandlung von Schweißnähten

An Konstruktionsdetails, bei denen die Rissbildung bei Ermüdungsbeanspruchungen am Schweißnahtübergang erfolgt, sind Schweißnahtnachbehandlungsverfahren sehr gute Methoden, um die Ermüdungsfestigkeit zu erhöhen. Neben den bereits seit Längerem bekannten Verfahren, wie dem Ausschleifen der Schweißnahtübergänge oder der Verbesserung der Schweißnahtgeometrie mittels WIG-Nachbehandlung, ist insbesondere das neuere Verfahren höherfrequentes Hämmern (HFH) zu nennen. Beim HFH werden die Schweißnahtübergänge zum Grundwerkstoff durch Nadeln lokal bearbeitet. Das Wirkprinzip besteht im Wesentlichen daraus, dass die oberflächennahen Materialschichten elastisch-plastisch kaltverformt und verfestigt werden, wodurch sich oberflä-

**Tab. 4** Verbesserung der Ermüdungsfestigkeit eines Kerbdetails  
Improvement of the fatigue strength of a construction detail



| Detailausbildung     | Kerbgruppe $\Delta\sigma_c$ | Erhöhung $\Delta\sigma_c$ | Lebensdauer |
|----------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------|
| ohne Ausrundung      | 40 N/mm <sup>2</sup>        | Basiswert                 | Basiswert   |
| $r/l < 1/6$          | 50 N/mm <sup>2</sup>        | + 25%                     | ca. 2-fach  |
| $1/6 \leq r/l < 1/3$ | 71 N/mm <sup>2</sup>        | + 77,5%                   | ca. 5-fach  |
| $r/l \geq 1/3$       | 90 N/mm <sup>2</sup>        | + 125%                    | ca. 11-fach |



**Bild 14** Überblick HFH-Geräte und -Produkte  
Overview HFMI equipment and products

chennahe Druckeigenstressungen am Schweißnahtübergang einstellen. Erstmals wurde dieses Verfahren beginnend im Jahre 2003 in Deutschland umfassend untersucht [28, 29]. Es konnten dabei sehr große Steigerungen bei der Ermüdungsfestigkeit von geschweißten Konstruktionen und damit der Lebensdauer festgestellt werden. In der Zwischenzeit wurde eine Vielzahl weiterer Untersuchungen zu dem HFH-Verfahren durchgeführt, sodass seit 2018 die Vorbereitung einer DASt-Richtlinie vorliegt [30] und somit zukünftig eine bauaufsichtliche Anwendung möglich sein sollte. Bemessungsempfehlungen für Neukonstruktionen liegen darin für die Konstruktionsdetails Stumpfstoß, Quersteife und Längssteife vor. Untersuchungen zum Einfluss der Betriebsfestigkeit mit variablen Belastungskollektiven werden derzeit u.a. an der Hochschule München durchgeführt [31]. Ein Überblick über Geräte und Produkte für das Nachbehandlungsverfahren HFH ist in Bild 14 gegeben.

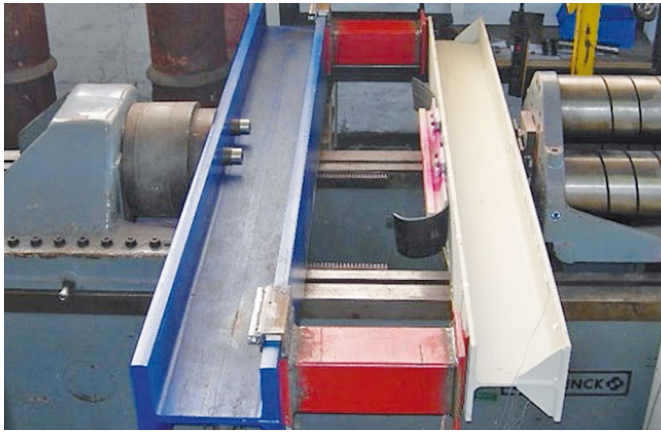
Untersuchungen haben ebenfalls gezeigt, dass das HFH-Verfahren auch bei Anwendung an Bestandskonstruktionen sehr vielversprechend ist [32]. Auch bei Anwendung des HFH-Verfahrens an reparaturgeschweißten Konstruktionen konnten deutliche Verbesserungen bei der Ermüdungsfestigkeit [33] festgestellt werden. Detaillierte Bemessungsempfehlungen für die Anwendung an Bestandskonstruktionen liegen allerdings noch nicht vor,

sodass hier die Anwendung von kürzeren Inspektionsintervallen mit Inaugenscheinnahme der nachbehandelten Konstruktionsdetails zu empfehlen ist.

### 3.4.3 Anwendung neuer Forschungsergebnisse/ Durchführung von Ermüdungsversuchen

Die in DIN EN 1993-1-9 [22] angegebenen Kerbfälle liegen zum Teil auf der sicheren Seite. Durch die Anwendung neuer Forschungsergebnisse z.B. zur Radlasteinleitung an der Universität Stuttgart [34] können höhere Ermüdungsfestigkeiten erzielt werden. Nach Ansicht der Autoren ist die Verwendung solcher Ergebnisse bei der Bewertung von Bestandskranbahnen angebracht. Eine Zusammenstellung neuer Kerbfälle für die Radlasteinleitung findet sich z.B. in [35].

Auch können höhere Ermüdungsfestigkeiten durch die Durchführung und Auswertung von einzelnen Ermüdungsversuchen erzielt werden. Die untersuchten Details müssen dabei möglichst genau der Bestandskonstruktion entsprechen. Bei Untersuchungen an der Hochschule München an aufgeschweißten Schienenklemmen an Walzprofilen (Bild 15) konnten z.B. erhebliche Steigerungen bei der Ermüdungsfestigkeit im Vergleich zu den Vorgaben aus der Norm erzielt werden [25].



**Bild 15** Prüfaufbau Ermüdungsversuch mit aufgeschweißter Schienenklemme [25]  
Testing conditions of fatigue tests for welded rail anchor [25]

### 3.5 Ausnutzung von Tragwerksreserven

Bei Bestandskranbahnen wurden in der Vergangenheit für die Berechnung häufig vereinfachte statische Annahmen für die Tragsysteme angenommen, damit eine Bemessung händisch überhaupt möglich ist. Mittels der Anwendung von EDV-Programmsystemen können heutzutage auch komplexere Tragsysteme abgebildet und berechnet werden. Die Ausnutzung ggf. vorhandener versteckter Tragreserven ist damit möglich.

Als Beispiel können z.B. mehrschiffige Kranhallen genannt werden. Kopplungen von horizontalen Aussteifungssystemen der einzelnen Hallenschiffe wurden in älteren Bestandsstatiken i.d.R. nicht berücksichtigt, obwohl die Hallenschiffe häufig konstruktiv und damit auch statisch gekoppelt sind. Werden diese Kopplungen bei einer Nachbewertung nach neuer Norm aufgrund einer Umnutzung berücksichtigt, können z. B. die horizontalen Beanspruchungen in den Aussteifungssystemen umverteilt und damit reduziert werden.

### 3.6 Einführung eines Inspektionsprogramms

Die Einführung eines Inspektionsprogramms mit verkürzten Inspektionsintervallen zur Sicherstellung, dass eine Weiternutzung nach Ende der rechnerischen Le-

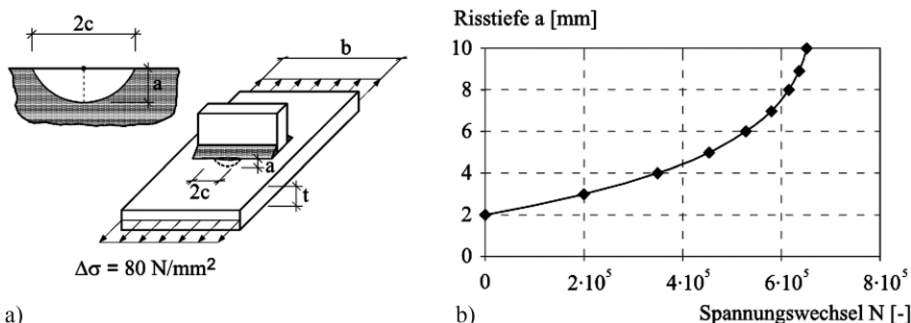
bensdauer zeitweise noch möglich ist, erscheint den Autoren als sinnvoll. Mit dem Inspektionsprogramm soll gewährleistet werden, dass das mögliche Auftreten von Rissen rechtzeitig erkannt wird, bevor kritische Rissgrößen, die die Sicherheit im GZT gefährden, vorhanden sind. Die Rissprüfung kann allgemein über eine handnahe Sichtprüfung erfolgen, bei ermüdungskritischen Konstruktionsdetails ist eine ergänzende Rissprüfung mittels Farbeindringverfahren oder Magnetpulververfahren zu empfehlen. Detailangaben zum Inspektionsprogramm und den Zeiten der Inspektionsintervalle können nicht allgemein festgelegt werden, sondern sind für jede Kranbahn und ggf. auch für die Kranbahnunterstützungskonstruktionen abhängig von der Konstruktion, von der statischen Ausnutzung, vom Kranbetrieb und der Beanspruchungsklasse sowie vom Auftreten möglicher Vorschädigungen spezifisch festzulegen. Hilfestellungen für die Festlegung der Zeiten der Inspektionsintervalle können auch ergänzende detaillierte Berechnungen wie Rissfortschrittsberechnungen sein (Abschn. 3.7).

### 3.7 Rissfortschrittsberechnungen

Ist die rechnerische Lebensdauer überschritten oder sind bereits Risse aufgetreten, kann eine rechnerische Restlebensdauerberechnung mittels einer Rissfortschrittsberechnung unter Anwendung der Bruchmechanik erfolgen (Bild 16). Der rechnerische Rissfortschritt ist über festzulegende Inspektionsintervalle mit dem tatsächlichen Rissfortschritt abzugleichen bzw. zu überprüfen. Die Anwendung des Verfahrens sollte nur für kurzzeitige Nutzungsverlängerung der Kranbahn verwendet werden, damit z. B. Zeiträume für eine Sanierung oder einen Austausch festgelegt werden können und ein Weiterbetrieb bis zu diesem Zeitpunkt unter Sicherstellung ausreichender Tragfähigkeitsreserven gewährleistet werden kann.

## 4 Zusammenfassung

Aufgrund der immer älter werdenden Infrastruktur von Industrieanlagen erfährt die Bestandsbewertung von Industriegebäuden und der zum Tragwerk zugehörigen Fördertechnik (Kranbahnen und Kranhallen) einen immer größer werdenden Stellenwert.



**Bild 16** a) Rissbild bei bruchmechanischer Untersuchung an Quersteife, b) Risswachstumskurve [23]  
a) Crack for fracture mechanics analysis, b) crack-propagation curve [23]

Kranbahnen und deren zugehörige lastabtragende Bauteile unterliegen einer „nicht vorwiegend ruhenden Belastung“ und sind daher ermüdungsbeansprucht. Infolge der Ermüdungsbeanspruchung kann es zu unterschiedlichen Schädigungen kommen, bspw. Gefügeschädigungen, Rissbildungen an Querschnittsteilen und Schweißnähten oder das Lösen und Abscheren von Schrauben.

Dies führt bei der Bestandsbewertung – im Gegensatz zu Standardtragwerken unter vorwiegend ruhenden Beanspruchungen – zu einem deutlich höheren Aufwand bei der Beurteilung und Bewertung des Zustands des Tragwerks und erschwert die Aussage, ob eine Kranbahn weiterbetrieben, ertüchtigt oder ausgetauscht werden muss.

Ein eingeführtes Alterungsmanagementsystem nach VDI 6200 [1] trägt dazu bei, Schädigungen an einem Bauwerk frühzeitig bei noch geringem Schädigungsgrad zu erkennen. Vor diesem Hintergrund ist es zwingend, dass man für Kranbahnen ein entsprechendes Inspektionsprogramm zusammenstellen und durchführen muss. Darüber hinaus ist es nach Ansicht der Autoren sinnvoll, aufgrund der Ermüdungsbeanspruchung aus dem Kranbetrieb eine realistische Lebensdauerberechnung durchzuführen und diese in der Bestandsdokumentation nach VDI 6200 [1] festzuhalten.

Bei der Lebensdauerberechnung sollten bekannte Angaben und Daten mit einfließen, sodass die Restlebensdauer

der Kranbahn relativ sicher bestimmt werden kann. Diese Berechnung sollte nach Ansicht der Autoren auf Basis der EN 1993-1-9 [22] durchgeführt werden, da diese im Gegensatz zu den Vorgängernormen wie z.B. der DIN 4132 [9] deutlich feinere unterschiedliche Kerbfalleinstufungen hat, mit denen eine genauere Bestimmung möglich ist.

In Abhängigkeit von den Ergebnissen der Inspektion und der rechnerischen Lebensdauerberechnung kann eine Bewertung zur Weiternutzung der Kranbahn erfolgen. Bei Berücksichtigung verschiedener Möglichkeiten kann man auch nach dem Ende der festgelegten Lebensdauer unter strengen Auflagen eine Kranbahn in begrenztem Umfang durchaus weiterbetreiben, um den erforderlichen Komplettaustausch der Kranbahn in Ruhe vorbereiten zu können und nicht einen abrupten Stillstand hervorzurufen, der dann möglicherweise mit Produktionsausfall und hohen finanziellen Verlusten einhergehen würde. Unabhängig erscheint den Autoren hier jedoch die Einführung eines Inspektionsprogramms mit verkürzten Inspektionsintervallen. Hierzu gibt es keine allgemeingültige Vorgehensweise, da dieses Inspektionsprogramm immer individuell auf den einzelnen Kran und seine betriebsbedingten spezifischen Abläufe abgestimmt sein muss, sodass hier alle Beteiligten (Kranhersteller – Betreiber – Tragwerksplaner) gemeinsam ein realistisches, sicheres und verantwortungsvolles Konzept erarbeiten müssen, das von allen zu vertreten ist.

## Literatur

- [1] VDI 6200 (2010) Standsicherheit von Bauwerken – Regelmäßige Überprüfung. VDI-Gesellschaft Bauen und Gebäudetechnik.
- [2] *Anges, U.* (2011) Wiederkehrende Bauwerksprüfung im Hochbau nach VDI 6200, Standsicherheit von Bauwerken – Regelmäßige Überprüfung. TAS-Kongress, 2011.
- [3] DIN 1076 (1999) Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen – Überwachung und Prüfung. Berlin: Beuth.
- [4] Bauministerkonferenz der Länder – ARGEBAU [Hrsg.] (2006) Hinweise für die Überprüfung der Standsicherheit von baulichen Anlagen durch den Eigentümer/Verfügungsberechtigten.
- [5] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) [Hrsg.] (2008) RÜV – Richtlinie für die Überwachung der Verkehrssicherheit von baulichen Anlagen des Bundes.
- [6] DIN EN 1993-6 (2010) Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten, Teil 6: Kranbahnen. Berlin: Beuth.
- [7] Nationaler Anhang zu DIN EN 1993-6 (2017) Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten, Teil 6: Kranbahnen. Berlin: Beuth.
- [8] *bauforumstahl* [Hrsg.] (2018) Richtlinie BFS-RL 07-104 Inspektion von Kranbahnträgern nach DIN EN 1993-6/NA.
- [9] DIN 4132 (1981) Kranbahnen; Stahltragwerke; Grundsätze für Berechnung, bauliche Durchbildung und Ausführung. Berlin: Beuth.
- [10] DIN 120 (1936) Berechnungsgrundlagen für Stahlbauteile von Kranen und Kranbahnen, Blatt 1 und 2. Berlin: Beuth.
- [11] TGL 13471 (1969) Stahlbau – Stahltragwerke für Kranbahnen. DDR Standard.
- [12] *Seeßelberg, C.* (2016) Umnutzung von Bestandskranbahnen – Teil 1. In: Stahlbau 85, H. 6, S. 387–394.
- [13] *Seeßelberg, C.* (2016) Umnutzung von Bestandskranbahnen – Teil 2. In: Stahlbau 85, H. 7, S. 483–490.
- [14] VDI 2485 (2014) Instandhaltung von Krananlagen. Verein Deutscher Ingenieure (VDI).
- [15] DIN 31501 (2012) Grundlagen der Instandhaltung. Berlin: Beuth.
- [16] DIN EN 1991-3 (2010) Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 3: Einwirkungen infolge von Kranen und Maschinen. Berlin: Beuth.
- [17] Nationaler Anhang zu DIN EN 1991-3 (2019) Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 3: Einwirkungen infolge von Kranen und Maschinen. Berlin: Beuth.
- [18] *Kuhlmann, U.; Euler, M.* (2011) Bestimmung von Sicherheitselementen für die Anwendung von DIN EN 1993-6: Kranbahnen – Ausarbeitung eines Vorschlags und einer Begründung für den deutschen Nationalen Anhang, Forschungsbericht Bauforschung T 3252. Stuttgart: Fraunhofer IRB-Verlag.
- [19] *Seeßelberg, C.* (2016) Kranbahnen – Bemessung und konstruktive Gestaltung nach Eurocode. 5. Aufl. Berlin: Beuth Verlag.
- [20] *Seeßelberg, C.* (2019) Kranbahnen im Baubestand: Bewertung, Ertüchtigung, Weiternutzung. In: Stahlbau 88, Sonderheft Kranbahnen, S. 23–38.
- [21] *Seeßelberg, C.* (2019) Inspektionen von Kranbahnen für Brückenkrane nach DIN EN 1993-6. In: Konstruktiver Ingenieurbau KI, H. 2, S. 35–41.

- [22] DIN EN 1993-1-9: Eurocode 3 (2010) Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten, Teil 1-9: Ermüdung. Berlin: Beuth.
- [23] *Kuhlmann, U.; Dürr, A.; Günther, H.-P.* (2003) Kranbahnen und Betriebsfestigkeit. In: *Kuhlmann, U.* [Hrsg.] Stahlbaukalender 2003.
- [24] DIN EN ISO 9712 (2012) Zerstörungsfreie Prüfung – Qualifizierung und Zertifizierung von Personal der zerstörungsfreien Prüfung. Berlin: Beuth.
- [25] *Bucak, Ö.; Strohbach, H.; Rodic, S.; Ehard, H.* (2015) Walzprofile mit aufgeschweißten Schienenklemmen. In: *Stahlbau* 84, H. 9, S. 667–672.
- [26] DIN EN 1090-2 (2018) Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken – Teil 2: Technische Regeln für die Ausführung von Stahltragwerken. Berlin: Beuth.
- [27] *bauforumstahl* [Hrsg.] (2018) Richtlinie BFS-RL 07-103: Entwurf und Berechnung von Kranbahnen.
- [28] *Dürr, A.* (2006) Zur Ermüdungsfestigkeit von Schweißkonstruktionen aus höherfesten Baustählen bei Anwendung von UIT-Nachbehandlung [Dissertation]. Mitteilungen des Instituts für Konstruktion und Entwurf, Nr. 2006-3, Universität Stuttgart.
- [29] *Kuhlmann, U.; Bergmann, J.; Dürr, A.; Thumser, R.* (2006) Effizienter Stahlbau aus höherfesten Stählen unter Ermüdungsbeanspruchung. AiF-Vorhaben Nr. 13866, P 620, Forschungsvereinigung Stahlanwendung e.V. FOSTA.
- [30] *Kuhlmann, U.; Breunig, S.; Ummenhofer, T.; Weidner, P.* (2018) Entwicklung einer DAST-Richtlinie für höherfrequente Hämmerverfahren. In: *Stahlbau* 87, H. 10, S. 967–983.
- [31] *Schiller, R.; Löschner, D.; Diekhoff, P.; Engelhardt, I.; Nitschke-Pagel, T.; Dilger, K.* Beanspruchungsreihenfolgeeinfluss auf die bearbeitungsbedingten Verfestigungen und Eigenspannungen und die Betriebsfestigkeit nachbehandelter Kerbdetails. DVS (IGF-Vorhaben Nr. 18.848 N) (in Bearbeitung).
- [32] *Kuhlmann, U.; Günther, H.-P.; Dürr, A.* (2005) Rehabilitation of Welded Joints by Ultrasonic Impact Treatment (UIT). IABSE Symposium 2005 “Structures and Extreme Events”. Lissabon, Sept. 2005.
- [33] *Kuhlmann, U.; Ummenhofer, T.; Kudla, K.; Weidner, P.* (2013) Untersuchungen zur Anwendung höherfrequenten Hämmerverfahren im Stahlwasserbau. Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), Abschlussbericht.
- [34] *Euler, M.* (2017) Ermüdungsverhalten nicht durchgeschweißter Konstruktionsdetails mit mehrachsiger Beanspruchung aus Radlasteinleitung [Dissertation]. Mitteilungen des Instituts für Konstruktion und Entwurf, Nr. 2017-1, Universität Stuttgart.
- [35] *Euler, M.; Kuhlmann, U.* (2017) Bemessung von Kranbahnen nach DIN EN 1993-6. In: *Kuhlmann, U.* [Hrsg.] Stahlbaukalender 2017.

#### Autoren

Prof. Dr.-Ing. André Dürr  
Hochschule München  
Institut für Material- und Bauforschung  
Karlstraße 6  
80333 München  
andre.duerr@hm.edu

Dipl.-Ing. Alexander Dreiling  
HOCHTIEF Engineering GmbH  
Consult IKS  
St.-Martin-Straße 57  
81669 München  
Alexander.Dreiling@HOCHTIEF.de

Dipl.-Ing. Jochen Bartenbach  
HOCHTIEF Engineering GmbH  
Consult IKS  
Lyoner Straße 25  
60528 Frankfurt am Main  
Jochen.Bartenbach@HOCHTIEF.de