

# 2021

Dezember 2021, S. 75-91  
ISSN 0038-9145

Sonderdruck

# Stahlbau

## Kranbahnen – Planung, Bemessung und Ausführung



## Besonderheiten beim Austausch von Kranbahnträgern für schweren Kranbetrieb

André Dürr  
Jochen Bartenbach  
Peter Kretschmar  
Marco Rieche  
Armin Sdorra  
Martin Wunderlich



# Besonderheiten beim Austausch von Kranbahnträgern für schweren Kranbetrieb

Viele bestehende Industrieanlagen mit Krananlagen für schweren Betrieb sind in Deutschland mittlerweile mehr als 50 Jahre in Betrieb und die rechnerisch ermittelte Lebensdauer der Kranbahnträger ist in vielen Fällen überschritten. Zusätzlich zu der langen Nutzung der Krananlagen wurden diese in dieser Zeit vielfach erweitert und neu gestaltet. Die Kranbahnträger und deren lastabtragende Unterkonstruktion wie Konsolen und Kranbahnstützen müssen zusätzlich oft höhere Kranlasten (aus geänderten Produktionsabläufen) aufnehmen als die Lasten, für die sie einmal ursprünglich ausgelegt und bemessen wurden. Dementsprechend ergeben sich für die Erneuerung von alten Bestandsbauten und im Besonderen für die zugehörigen Kranbahnen völlig andere Randbedingungen, als noch bei deren Errichtung galten. Im Rahmen dieses Beitrags wird auf die Besonderheiten infolge der erschwerten Randbedingungen bei Bestandsgebäuden sowie die Besonderheiten bei Konstruktion und Bemessung eingegangen, die beim Austausch von Kranbahnträgern für schweren Kranbetrieb zu beachten sind.

**Stichworte** Stahlkonstruktionen im Bestand; Industriebau; Kranbahnen

## Special requirements for the replacement of crane runway beams in heavy-duty industrial crane operation

Many existing industrial plants with heavy-duty crane systems in Germany have now been in operation for more than 50 years and, in many cases, the calculated service life of the crane runway beams has been exceeded. In addition to the long service deployment of the crane systems, plants have often been extended and crane systems redesigned during this time. The crane runway beams and their load-transferring substructures, such as brackets and crane runway supports, often have to absorb higher crane loads (from changed production processes) than the loads for which they were originally designed and configured. Accordingly, the renewal of old existing buildings, and in particular the associated crane runways, are subject to different basic parameters than those that applied when they were first built. This paper deals with the particularities and special requirements resulting from the more difficult boundary conditions of existing buildings as well as the special design and dimensioning aspects that have to be considered when replacing crane runway beams for heavy-duty industrial crane operation.

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

## 1 Einleitung

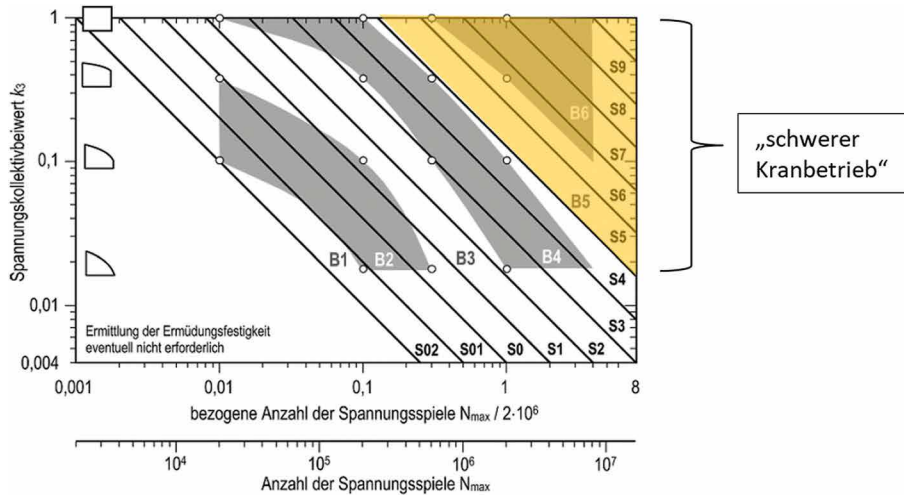
### 1.1 Hintergrund

Aufgrund der immer älter werdenden Infrastruktur von Industrieanlagen erfährt die Ertüchtigung von Industriebauwerken und der zum Tragwerk zugehörigen Förder-technik (Kranbahnen und Kranhallen) einen immer größer werdenden Stellenwert. Der Hintergrund hierfür liegt darin, dass nach Ende des Zweiten Weltkriegs viele Industrieanlagen in Deutschland zerstört waren. Nach einer ersten Phase von Reparaturen und Erweiterungen wurden viele Betriebe dann anschließend neu errichtet oder umfassend modernisiert. Existierende Kranbahnanlagen deutscher Stahlwerke stammen z. B. hauptsächlich aus den 1960er- und 1970er-Jahren und wurden bis heute kontinuierlich einem schweren Kranbetrieb ausgesetzt [1]. Infolge dieser Ermüdungsbeanspruchung kommt es bei den Kranbahnträgern und deren Unterkonstruktionskonstruktionen zu einer beschränkten Lebensdauer. Bei der Durchführung einer Bestandsbewertung ist bei Kranbahnen mit schwerem Kranbetrieb daher häufig keine rechnerische Restlebensdauer mehr vorhanden. Aufgrund von betrieblichen Prozessen und

Randbedingungen aus dem Bestand gestaltet sich der Kompletttausch der Kranbahnen oft als sehr komplex. Aus diesem Grund ist man bestrebt, die vorhandenen Konstruktionen durch genauere Nachweisverfahren und erhöhten Inspektionsaufwand (Beobachtung) zeitweise weiter zu betreiben [2]. Zur Vermeidung eines abrupten Stillstands, verursacht durch eine mögliche ermüdungsrelevante Schädigung, der dann möglicherweise mit Produktionsausfall und entsprechenden hohen finanziellen Auswirkungen verbunden wäre, sollte diese Zeit genutzt werden, den Austausch zu planen und vorzubereiten.

### 1.2 Einstufung und Verwendung von Kranbahnen mit schwerem Kranbetrieb

Als Kranbahnen mit schwerem Kranbetrieb können Kranbahnen mit einer Einstufung in die Beanspruchungsklassen B5 und B6 nach DIN 4132 [3] angesehen werden. Die Beanspruchungsklasse kann im Regelfall der Bestandsdokumentation entnommen werden. Eine Übertragung der Einstufung nach DIN 4132 [3] auf die neuen Einstufungen nach DIN EN 1991-3 [4] ist mithilfe der



**Bild 1** Vergleich Beanspruchungsklassen für Kranbahnen nach DIN 4132 und DIN EN 1991-3 [5]  
Comparison of crane fatigue classes according to DIN 4132 and DIN EN 1991-3 [5]

Anwendung von Bild 1 möglich. Eine Einstufung von Kranen mit schwerem Kranbetrieb ist damit bei den Beanspruchungsklassen S5–S9 vorhanden. Die Einstufung der Krane in die Beanspruchungsklassen berücksichtigt zum einen das Lastkollektiv, beschrieben durch den Lastkollektivbeiwert  $kQ$ , sowie die während der Nutzungsdauer zu erwartende Gesamtzahl an Arbeitsspielen  $C$ . Die Beanspruchungsgruppe nimmt zu, wenn entweder das Lastkollektiv völliger wird ( $kQ$  wird größer) oder die Gesamtzahl der Arbeitsspiele  $C$  zunimmt. Ein schwerer Kranbetrieb ist damit bei Krankollektiven mit hohem Volligkeitsgrad  $kQ$  und einer großen Anzahl an Arbeitsspielen verbunden.

In DIN EN 1991-3 [4] bzw. im dazugehörigen Nationalen Anhang [6] sind Empfehlungen für die Einstufung in Beanspruchungsklassen auf Basis des Verwendungszwecks vorhanden. Folgende typische Verwendungen der Krananlage sind mit einem schweren Kranbetrieb verbunden (Tab. 1). In der Regel liegt bei den aufgeführten Verwendungszwecken neben der hohen Beanspruchungsklasse auch eine hohe Nutzlast der Krananlagen vor.

### 1.3 Allgemeine Überlegungen zu Bestandskranbahnen und deren Austausch

In einem ersten Schritt sollte bei älteren Bestandskranbahnen eine Bestandsbewertung und eine Restlebensdauerermittlung erfolgen, um zu bestimmen, inwieweit eine sichere und zuverlässige Weiternutzung der bestehenden Konstruktion noch möglich ist. Mittels der Einführung eines Inspektionsprogramms und der Durchführung von Ertüchtigungsmaßnahmen ist im Regelfall zumindest noch ein zeitweiser Weiterbetrieb der Kranbahnen möglich. Ausführliche Erläuterungen hierzu können [2] entnommen werden. Im Zeitraum der beschränkten Weiternutzung der Kranbahn kann dann der notwendige Kranbahnaustausch geplant und vorbereitet werden. Aufgrund der Komplexität sind dabei vielfältige Überlegungen vorab durchzuführen. Auf folgende Punkte wird daher in den weiteren Abschnitten des Beitrags im Detail eingegangen:

- erschwerte Randbedingungen beim Austausch der Kranbahnen in einer bestehenden Produktionsanlage mit beengten Platzverhältnissen, vorhandenen Hin-

**Tab. 1** Verwendungszweck von Kranen mit hoher Beanspruchungsklasse nach NA zu EN 1991-3 [6]  
Type of cranes with high crane classification according NA of EN 1991-3 [6]

Art des Krans	Hubklasse	S-Klasse
Lagerkrane, Traversenkrane, Schrottplatzkrane – mit kontinuierlichem Betrieb	HC3, HC4	S6, S7
Brückenlaufkrane, Anschlagkrane – mit Greifer- oder Magnetarbeitsweise	HC3, HC4	S6, S7
Gießereikrane	HC2, HC3	S6, S7
Tiefenkrane	HC3, HC4	S7, S8
Stripperkrane, Beschickungskrane	HC4	S8, S9
Schmiedekrane	HC4	S6, S7
Transportbrücken, Halbportalkrane, Portalkrane mit Katz oder Drehkran – mit Greifer- oder Magnetarbeitsweise	HC3, HC4	S6, S7
Hafenkrane, Drehkrane, Schwimmkrane, Wippdrehkrane – mit Greifer- oder Magnetarbeitsweise	HC3, HC4	S6, S7

dernissen und Störkanten, engen Terminvorgaben und einer möglicherweise laufenden Produktion,

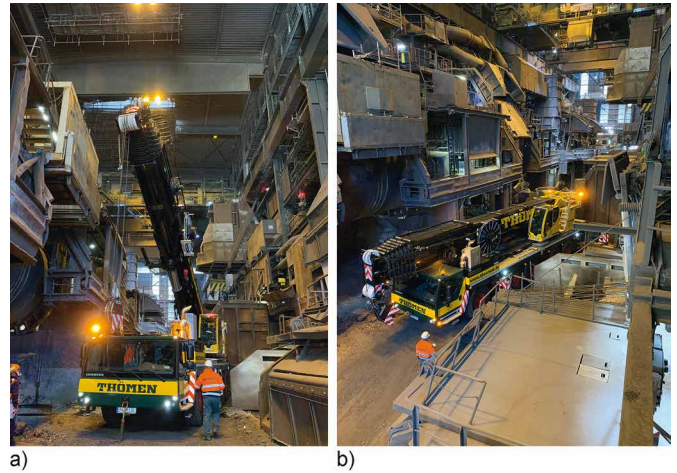
- Auswahl des statischen Systems und der konstruktiven Umsetzung bei schwerem Kranbetrieb unter Berücksichtigung der vorhandenen Randbedingungen im Bestand,
- Besonderheiten bei der Bemessung der Horizontalaussteifung resultierend aus der Krannutzung,
- Grenzen und Nachteile des standardmäßigen Nennspannungskonzepts für den Ermüdungsnachweis, insbesondere bei dicken Gurtblechen und den Krankonsolen, sowie die Problematik bei Anwendung des Strukturspannungskonzepts.

## 2 Randbedingungen für den Austausch für schwere Krane

Viele bestehende Industrieanlagen mit Krananlagen sind mittlerweile mehr als 50 Jahre in Betrieb und die rechnerisch ermittelte Lebensdauer ist in den meisten Fällen überschritten. Zusätzlich zu der langen Nutzung der Krananlagen wurden diese in dieser Zeit vielfach erweitert, neu gestaltet und müssen oft höhere Kranlasten (aus geänderten Produktionsabläufen) aufnehmen als die Lasten, für die sie einmal ursprünglich ausgelegt und bemessen wurden. Dementsprechend ergeben sich für die Erneuerung von alten Bestandsbauten und im Besonderen für die zugehörigen Kranbahnen völlig andere Randbedingungen, als noch bei deren Errichtung galten.

Die Ursprungsanlagen waren so konzipiert, dass sie mit der damals zur Verfügung stehenden Technik gut zu montieren waren. Üblicherweise waren Stützen, Konsolen etc. mehr oder weniger frei zugänglich. Durch Änderungen von Produktionsabläufen, Umbauten und Erweiterungen innerhalb der Kranhallen während des Betriebs der Kranbahnen in den letzten 50 Jahren sind die Produktionshallen jedoch häufig so verändert worden, dass einfache Zugänglichkeiten nicht mehr gewährleistet sind (Bild 2). Auch unter Berücksichtigung der heute leistungsfähigeren Kran- und Montagetechnik ist es äußerst schwierig, geeignete Kranstellplätze sowie die erforderlichen Logistikflächen zu finden.

Im Weiteren müssen Montageabläufe so geplant werden, dass die Einflüsse auf kontinuierliche Fertigungsabläufe und Produktionsprozesse sowohl in der Vorbereitungsphase als auch während der Durchführung des Austauschs berücksichtigt werden. Diese Einflüsse müssen den jeweiligen Anlagenverantwortlichen aus der Produktion sowie Instandhaltung klar kommuniziert werden. Hier ist es wichtig, dass im Rahmen der Vorplanung alle Randbedingungen (Stahlbaufertigung, Montage, Produktionsabläufe etc.) untereinander abgestimmt werden. Sinnvoll ist es auch, dass Probeszenarien vor dem Beginn der Umsetzung einfach – oder auch mehrfach – durchgeführt werden, um zu verhindern, dass während der eigentlichen, zeitlich begrenzten Umsetzung der Maßnahme Notfallsituationen entstehen. Diese Situationen wür-

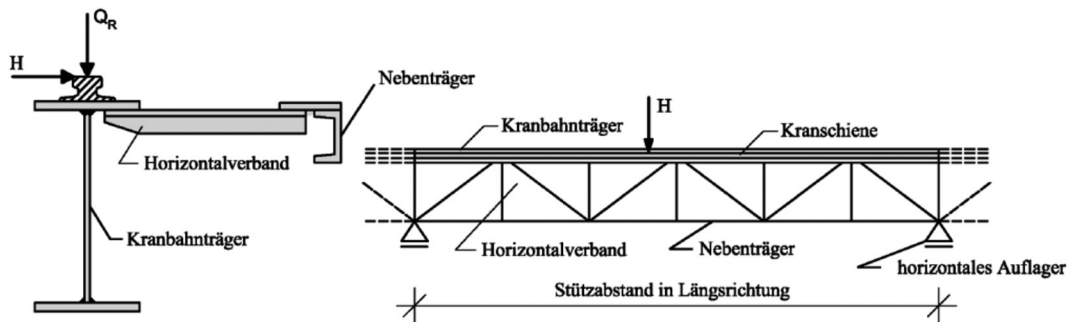


**Bild 2** a), b) Typische beengte Bedingungen eines Brückenkrans in einem Hüttenbetrieb (Aurubis Hamburg)  
a), b) Typical conditions of a crane in a copper plant (Aurubis Hamburg)

den, so sie denn eintreten, möglicherweise zu Verlängerungen der Baumaßnahme führen, einhergehend mit längeren Betriebsunterbrechungen, die dann wiederum unweigerlich zu hohen zusätzlichen Ausfallkosten führen.

Bei der Planung sollten daher die folgenden Punkte und Randbedingungen immer im Fokus stehen, hinterfragt und berücksichtigt werden:

- Werden die Eigengewichte der Konstruktionsbauteile durch neue Normen und Regelwerke oder Nutzlasten erhöht und welchen Einfluss haben diese Änderungen auf die nachfolgenden Konstruktionsbauteile wie Auflagerkonsolen, Stützen und deren Gründungen?
- Welcher Kosten- und Zeitbedarf von Verstärkungsmaßnahmen ist erforderlich, um eine neue Krananlage in Betrieb zu nehmen?
- Welche konstruktiven Anpassungen gegenüber der alten Bestandsanlage sind erforderlich bzw. werden vom Betreiber gewünscht?
- In welchem Zustand befindet sich die Grundkonstruktion und ist diese frei zugänglich?
- Bis wann ist die vorhandene Stahlkonstruktion zu reinigen und gibt es kontaminierte Stoffe, die zu beachten sind (verwendete Beschichtungsmittel, Ablagerungen etc.)?
- Welche Hebetchnik bildet das Optimum zwischen Platzbedarf und Tragfähigkeit? Aus diesem Punkt leiten sich die Größe der zu de- und zu montierenden Bauteilgruppen ab sowie die Anzahl der Störkanten, die in der Fertigungsstätte (Bestandsgebäude) vor dem Einsatz zu beseitigen und nachfolgend wieder zu montieren sind. Welcher Einfluss auf die laufende Produktion ist damit verbunden?
- Sind die vorhandenen Untergründe für die Lasten aus der notwendigen Hebetchnik und deren Stützkräfte geeignet?
- Gibt es Störkanten für den Kranausleger, die unter Umständen eine Justierung der Auslegerlänge erforder-



**Bild 3** Kranbahnträger mit Horizontalverband [7]  
Crane girder with horizontal bracing [7]

derlich machen, und ist dies in der Krankonfiguration überhaupt durchführbar oder müssen zusätzliche Zwischenlagerflächen geschaffen werden?

Dies sind wesentliche Punkte, die man berücksichtigen sollte. Wichtig ist, da jedes Bauvorhaben individuelle Randbedingungen hat, sich im Rahmen der Vorbereitung speziell mit dem Bestandsgebäude und der Bestandskranbahn und den damit verbundenen Arbeiten bis ins Detail zu beschäftigen.

### 3 Statische Systeme und konstruktive Umsetzung

#### 3.1 Konstruktive Gestaltung von Kranbahnträgern mit schwerem Kranbetrieb

Bei Kranbahnträgern mit schwerem Kranbetrieb kommen im Regelfall geschweißte Träger mit einem großen Obergurt als Dreiblechquerschnitt zur Anwendung.

Durch an die Lastsituation angepasste Profilloptimierung ergeben sich hier üblicherweise Materialeinsparungen. Im Weiteren ist der Einsatz auch dann möglich, wenn konventionelle Walzquerschnitte aufgrund eines zu kleinen Trägheitsmoments  $I_y$  als Querschnitt ausscheiden.

Die Schweißnaht zwischen Obergurt und Steg sollte wegen der einzuleitenden Radlasten und der damit verbundenen Ermüdungsproblematik als voll durchgeschweißte DHV-Naht geplant werden. Die unteren Halsnähte können hingegen als Doppelkehlnaht konzipiert werden. Beide Nähte sind ohne Unterbrechung auszuführen.

Bei der Dimensionierung des Stegblechs des Schweißträgers ist zu beachten, dass hier der Nachweis der Radlasteinleitung, der Beulnachweis oder der Ermüdungsnachweis ab Klasse S3 unter Berücksichtigung der Stegbiegung infolge Radlastexzentrizität maßgebend werden kann. Zur Erhöhung der Beulsteifigkeit können zusätzliche Beulsteifen im Steg angeordnet werden.

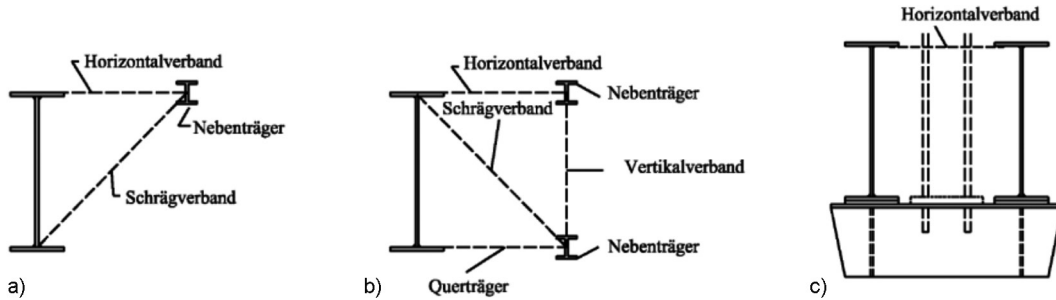
Am unempfindlichsten gegen die Ermüdungsbeanspruchung sind diesbezüglich allerdings Walzprofile. Bei Kranbahnen mit großen Radlasten werden zur Reduzie-

rung der lokalen Drücke durch die Radlasteinleitung als Alternative zum reinen Dreiblechquerschnitt deswegen auch halbierte HE-Träger als Obergurt verwendet.

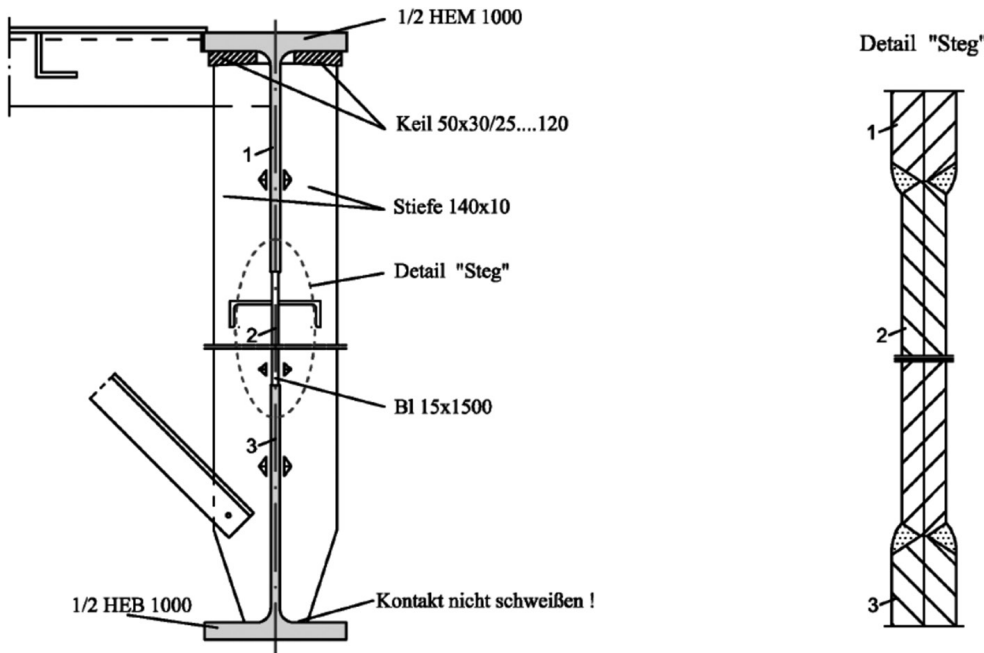
Darüber hinaus wird oft aufgrund der sehr hohen Horizontallasten ein Horizontalverband oder ein vollwandiger Horizontalträger in der Obergurtebene bzw. dicht darunter zur Erhöhung der horizontalen Seitensteifigkeit angeordnet (Bild 3).

Als Innengurt des Horizontalverbands wird der Obergurt des Kranbahnträgers benutzt. Das Stegblech dient bei vollwandigen Horizontalträgern häufig als Laufsteg und wird direkt begangen. Bei fachwerkartigen Horizontalverbänden werden hierfür Riffelbleche, Warzenbleche oder Gitterroste zur Abdeckung verwendet. Der Außengurt des Horizontalverbands kann gleichzeitig in das Haupttragwerk integriert werden, z. B. als Wandriegel für die Außenfassade. Dieser wird neben den Normalkräften aus der Horizontalbelastung zusätzlich auf Biegung aus Eigengewicht und Nutzlasten (Laufsteg) beansprucht. Bei großen Stützweiten ist daher der Außengurt in kürzeren Abständen im Halleninneren abzuhängen oder auf Zwischenstützen zu lagern. Ansonsten kann zur Stützung des Horizontalträgers ein leichter Nebenträger mit Querverbänden oder einem Schrägverband ausgebildet werden (Bilder 4a, 4b). Bei nebeneinanderliegenden Kranbahnen in mehrschiffigen Hallen bietet es sich an, die Kranbahnträger durch einen gemeinsamen begehbaren oberen Horizontalträger zu verbinden (Bild 4c).

Bild 5 zeigt einen Kranbahnträger für den extremen Einsatz in einer Hütte [8]. Die dort eingesetzten Krane besitzen meist eine vergleichsweise große Anzahl von Rädern. Um den Raddruck kerbfrei in den Steg einzuleiten, besteht der Obergurt aus einem halben HEM-1000-Profil. Die Bauhöhe des gesamten Kranbahnträgers beträgt 2,5 m. Das schlanke Stegblech muss daher durch Beulsteifen und Rippen ausgesteift werden. Der Übergang vom Profilsteg zum Obergurt wird mit einer durchgeschweißten K-Naht besonders kerbarm hergestellt. Um Kerben am Obergurt zu vermeiden, werden die Rippen dort nur verkeilt und nicht verschweißt. So kann ein exzentrisch aufstehendes Rad den Gurt nicht verdrehen. Die Rippen werden auch am Untergurt nicht angeschweißt. Die seitliche Aussteifung wird mittels eines



**Bild 4** Stützung von Horizontalverbänden [7]  
Support for horizontal bracing [7]



**Bild 5** Hoch beanspruchter Kranbahnträger für eine Stahlhütte mit sehr hohen Radlasten [8]  
Highly stressed crane girder for steel plant with high wheel forces [8]

Horizontalverbands realisiert, der nur an den nicht ermüdungsgefährdeten Rippen befestigt wird. So erreicht der Kranbahnträger in fast jedem Detail die beste Einstufung.

Bei schwerstem Kranbetrieb und sehr großen Spannweiten werden auch Kastenquerschnitte eingesetzt. Diese können in Form eines räumlichen Fachwerks oder alternativ als Vollwandquerschnitte ausgebildet sein. Die Kranschiene sitzt über einem der Stegbleche. Die daraus resultierende Torsionsbeanspruchung kann sehr gut vom Gesamtsystem des Kastens abgetragen werden. In regelmäßigen Abständen sind Querschotte – je nach Trägerhöhe mit oder ohne Mannloch – vorzusehen, um die exzentrische Radlasteinleitung und die ausreichende Formtreue des Querschnitts sicherzustellen. Alternativ sind bei fachwerkartigen Kastenträgern auch Querstreben möglich. Bild 6 zeigt einen typischen Querschnitt eines Kastenträgers mit Mannloch und einer zusätzlichen Trapezlängssteife. Die Längssteife wurde dabei so angeordnet, dass sie in Höhe des maximalen Ausschlags der Beulfigur des unversteiften Beulfelds liegt.

Im Gegensatz zu den Kranbahnauflagern für leichten bis mittleren Kranbetrieb sollte die Lagerung bei schwerem

und schwerstem Kranbetrieb über Zentrierleisten erfolgen (Bild 7).

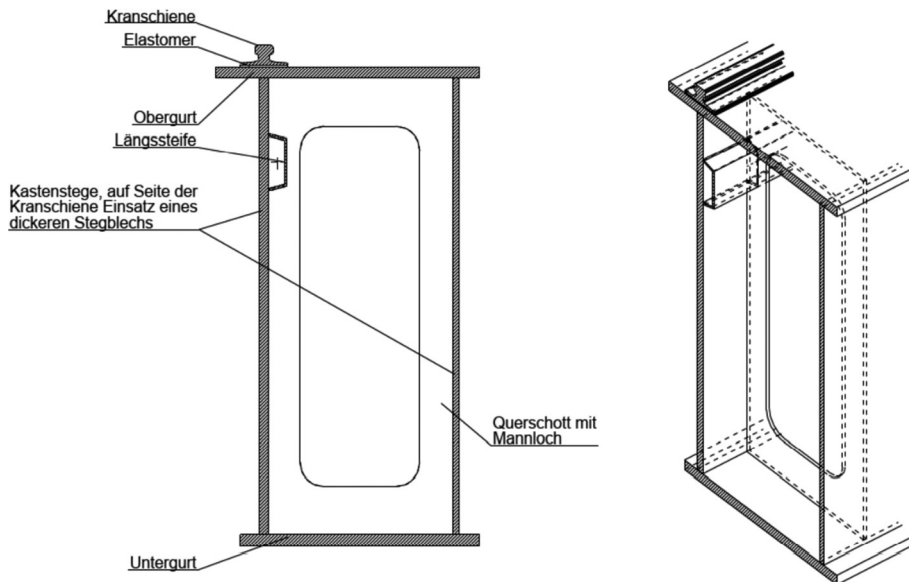
Dadurch werden Zwängungsbeanspruchungen und daraus resultierende Schäden am Auflagerbereich, infolge Ermüdung, vermieden.

### 3.2 Statische Systeme

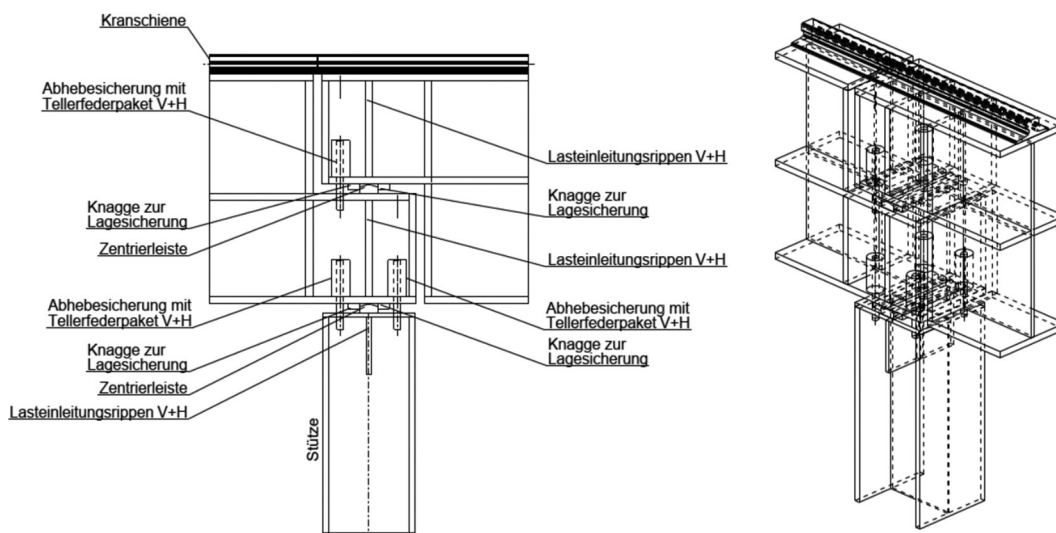
Auf die Vor- und Nachteile der verschiedenen Systeme wird in [9] ausführlich eingegangen. Der Vollständigkeit halber werden die wesentlichen Punkte hier noch einmal zusammengetragen. Bei der Wahl des statischen Systems von Kranbahnträgern gibt es unterschiedliche Kriterien zu beachten.

Die Wahl von Einfeldträgern ermöglicht eine vereinfachte Montage, abhebende Kräfte aus Durchlaufwirkung werden vermieden bzw. treten nicht auf.

Gleiche Feldlängen vorausgesetzt, werden alle Rahmensysteme aus Kranbetrieb gleich beansprucht und bei Setzungsdifferenzen zwischen benachbarten Rahmen wer-



**Bild 6** Kastenträger mit Querschott, Mannloch und Längssteife  
Box girder with transverse bulkhead, mud hole and longitudinal stiffener



**Bild 7** Trägerauflager mit Zentrierleisten  
Girder support with centring bar

den Zwängungskräfte im Träger vermieden und biegesteife Stöße sind nicht notwendig bzw. können entfallen.

Nachteilig hingegen ist hier, dass die Biegelinie über den Auflagern einen Knickpunkt in ihrem Verlauf hat. Das kann eine unruhige Kranüberfahrt im Lagerbereich zur Folge haben. Ferner ist, im Vergleich zu Mehrfeldsystemen, aufgrund der größeren Biegemomente und Durchbiegungen mit einem höheren Materialeinsatz zu rechnen.

Zweifeldträgersysteme können bei üblichen Hallenrastern i.d.R. ohne biegesteife Stöße ausgebildet werden. Hinsichtlich des Materialeinsatzes ergeben sich gegenüber Einfeldträgern Einspareffekte, während im Gegensatz zu den Einfeldträgern die Rahmensysteme unterschiedlich stark beansprucht werden, was sich nachteilig bei der Auslegung der Hallenstützen auswirken kann. Als nachteilig sind ebenfalls die abhebenden Lasten an den

Zweifeldträgerendauflagern infolge des Kranbetriebs anzusehen. Auch bei Zweifeldträgersystemen entstehen an Punkten zwischen den Endauflagern zweier benachbarter Träger, ähnlich wie bei Einfeldträgern, Knicke in der Biegelinie und somit eine gegenüber Mehrfeldträgern ebenfalls unruhige Kranüberfahrt. Vor allem bei den für den schweren Kranbetrieb erforderlichen großen Trägerhöhen kann auch die Montage gegenüber Einfeldträgern aufwendiger sein.

Bei Mehrfeldträgern werden i.d.R. biegesteife Stöße erforderlich, wobei sich der Materialeinsatz nur unwesentlich gegenüber dem von Zweifeldträgern unterscheidet.

Durch die langjährige Nutzung einer Fertigungshalle kann es infolge von Ermüdungsschäden erforderlich werden, dass der bestehende Kranbahnträger dann durch einen neuen ersetzt wird.

In diesem Falle sind Mehrfeldsysteme, vor allem dann, wenn anstelle von Schraubverbindungen Baustellen-schweißungen als Stoßart gewählt worden sind, als nachteilig gegenüber der Ausbildung von Einfeldträgern zu sehen. Dies vor dem Hintergrund, dass später keine einfache Demontage möglich ist, sondern aufwendige Trennschnitte erforderlich werden.

In Tab. 2 sind die unterschiedlichen Aspekte bei der Wahl des statischen Systems zusammengefasst.

Sollen bei Durchlaufträgern Schraubstöße angeordnet werden, so werden diese vorzugsweise über den Auflagern vorgesehen.

Unabhängig davon können die Stöße aus dem Bereich der Auflager in die Nähe des theoretischen Momenten-nullpunkts im Feldbereich verlagert werden, was wiederum zu einer geringeren Wechselbeanspruchung der Verbindung aus Momentenwirkung führt. In diesem Fall ist jedoch zu berücksichtigen, dass eine zusätzliche Wechselspannung infolge Querkraft auftritt.

Treten im Stoß wechselnde Schubkräfte auf, so ist die Verbindung als Typ C – gleitfeste Verbindung im Grenz-zustand der Tragfähigkeit – auszubilden.

Einem Lösen der Muttern und Verlust der Vorspannkraft infolge der Wechselbeanspruchung aus Kranbetrieb ist durch entsprechende Keilsicherungsscheiben entgegenzuwirken.

An dieser Stelle soll darauf hingewiesen werden, dass bei biegesteifen Stößen – gerade im Hinblick auf hohe Beanspruchungsklassen – zahlreiche Faktoren, wie z. B. Beschichtungen, Imperfektionen der Kopfplatten (ebene, konvexe oder konkave Form) oder ein beim Anschluss der Zugflansche fertigungsbedingter Schweißverzug, er-

hebliche Auswirkungen auf die Spannungen in den Schrauben, insbesondere beim Ermüdungsnachweis, haben können.

Eine exakte Bestimmung der Beanspruchungen in den Schrauben zieht zum Teil sehr aufwendige Betrachtungen nach sich. Eine genauere Aufschlüsselung würde den Rahmen dieses Beitrags sprengen, darum sollen die wichtigsten Punkte nur kurz erwähnt werden.

Zum einen ist der Zuwachs der Normalkraft in den Schrauben infolge äußerer Beanspruchung unter Berücksichtigung der Vorspannung zu bestimmen. Dafür gibt es verschiedenste Rechenmodelle in einschlägiger Fachliteratur. Weiterhin müssen entsprechend [10] Tabelle 8.1 die zusätzlich im Schraubkörper wirkenden Biegespannungen infolge von Abstützkräften ermittelt werden, um einen Nachweis der Betriebsfestigkeit im Sinne von DIN EN 1993-1-9 [10] führen zu können.

#### 4 Ermüdungslasten bei schwerem Kranbetrieb

Bei schwerem Kranbetrieb spielen die Nachweise gegen Ermüdung eine maßgebende Rolle für die Bemessung und haben maßgeblichen Einfluss auf die konstruktive Ausbildung der Kranbahnträger und eventuell weiterer Bauteile.

Vor einer weiteren Vertiefung der Thematik, welche Ermüdungslasten bei schwerem Kranbetrieb im Besonderen relevant werden können, wird nachfolgend zuerst erläutert, welche Einwirkungen in der praktischen Bemessung von Kranbahnträgern üblicherweise als ermüdungsrelevant berücksichtigt werden.

Zur Definition der Bezeichnung „hohe Beanspruchungsgruppe“ wird hier auf den vorstehenden Abschn. 1.2 verwiesen

**Tab. 2** Gegenüberstellung der Vor- und Nachteile verschiedener statischer Systeme  
Comparison of the advantages and disadvantages of different structural systems

	Vorteile	Nachteile
Einfeldträger	<ul style="list-style-type: none"> <li>– biegesteife Stöße können i. d. R. entfallen</li> <li>– unempfindlich gegenüber Setzungsdifferenzen</li> <li>– geringer Montage- und Demontageaufwand</li> <li>– gleiche Beanspruchung aller inneren Hallenrahmen infolge Kranbetriebs (bei gleichem Binderabstand)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– im Vergleich der Systeme größter Materialbedarf</li> <li>– Knickpunkte in der Biegelinie über den Auflagern führen zu unruhigem Kranbetrieb</li> </ul>
Zweifeldträger	<ul style="list-style-type: none"> <li>– geringerer Materialbedarf als beim Einfeldträger</li> <li>– biegesteife Stöße können i. d. R. entfallen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– empfindlich gegenüber Setzungsdifferenzen</li> <li>– erhöhte Beanspruchung infolge Kranbetriebs für die Hallenstützen unter dem Mittelaufleger</li> <li>– abhebende Lasten an den Endauflagern</li> <li>– Knickpunkte in der Biegelinie über den Auflagern führen zu unruhigem Kranbetrieb</li> </ul>
Drei- oder Mehrfeldträger	<ul style="list-style-type: none"> <li>– geringerer Materialbedarf als beim Einfeldträger</li> <li>– im Vergleich zu den anderen beiden Systemen ruhiger Kranbetrieb</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– biegesteife Stöße erforderlich</li> <li>– empfindlich gegenüber Setzungsdifferenzen</li> <li>– erhöhter Montage- und Demontageaufwand</li> </ul>

#### 4.1 Übliche Praxis für den Ansatz von Ermüdungsbeanspruchungen

Ein Kran beansprucht eine Kranbahn im Wesentlichen aufgrund folgender Einwirkungen ([4] Tabelle 2.2):

- Eigengewicht des Krans
- Hublast
- Massenkräfte aus Beschleunigen der Kranbrücke
- Massenkräfte aus Beschleunigen der Laufkatze oder des Hubwerks
- Schräglauf der Kranbrücke
- Kranprüflast
- Außergewöhnliche Einwirkungen wie Pufferendkräfte und Kippkräfte bei Kollision

Als ermüdungsrelevante Einwirkungen werden in der Praxis fast ausschließlich nur die Spannungsänderungen aus den vertikalen Einwirkungen „Eigengewicht des Krans“ und „Hublast“ berücksichtigt. Dieses Vorgehen ist in der aktuellen Bemessungsnorm für Kranbahnen DIN EN 1993-6 [11] im Abschnitt 9.1 (3) explizit so vorgegeben.

Kranprüflasten, Pufferendkräfte und Kippkräfte treten äußerst selten auf und brauchen deswegen nicht hinsichtlich Ermüdung betrachtet werden.

Bei den horizontalen Kranlasten – Schräglaufrkräfte, Massenkräfte aus Kran- und Katzfahren – ist es nicht ganz so offensichtlich, dass die daraus resultierenden Spannungsänderungen im Kranbahnträger und in den horizontalen Aussteifungselementen nicht ermüdungsrelevant sind. Sie werden jedoch aus den nachstehend beschriebenen Gründen fast ausschließlich als nicht ermüdungsrelevant vorausgesetzt.

Die Schräglaufrkräfte sind zufällige Störungen des Geradlaufs des Krans ([5] Abschnitt 6.1.2). Ihr Auftreten und ihre Größe sind abhängig von den Toleranzen des Schienenverlaufs und der Seitenführung des Krans (Spurkränze oder Führung mit Seitenrollen). In der Regel treten die Schräglaufrkräfte willkürlich und unregelmäßig auf.

Für die Massenkräfte aus Kran- und Katzfahren wird bei üblichen Verwendungen davon ausgegangen, dass sie nicht regelmäßig in einem bestimmten Bereich der Kranbahn, sondern als Folge unterschiedlicher Kranaufgaben verteilt über die ganze Kranbahn auftreten ([5] Abschnitt 6.1.2).

Das heißt, i. d. R. werden nur die Kranbahnträger und eventuell noch die direkt durch die Kranbahnträger belasteten Auflagerkonsolen gegen Ermüdungsbeanspruchungen nachgewiesen. Für viele Fälle ist dies sicherlich ausreichend. Aber bei hohen Radlasten in Verbindung mit hohen Beanspruchungsgruppen und eventuellem Betrieb von mehreren Kranen können die Ermüdungsnachweise auch für weiterführende Bauteile wie Hallenstützen maßgebend werden. Falls der Kran oder die Krane die Lasten

vorwiegend in den gleichen Hallenbereichen aufnehmen und abgeben, müssen gegebenenfalls auch die Aussteifungselemente zum Abtrag der horizontalen Kranlasten hinsichtlich Ermüdung betrachtet werden.

#### 4.2 Besonderheiten bei schwerem Kranbetrieb

Die Anmerkung in DIN EN 1993-6 [11] Kapitel 9.1 Absatz (3) gibt einen Hinweis, dass bei bestimmten Kranbahnen auch eine Ermüdungsbeanspruchung infolge von häufig wiederkehrenden Beschleunigungs- und Bremskräften auftreten kann oder auch Verbindungen zur Übertragung von Seitenlasten in manchen Fällen einer hohen Ermüdungsbeanspruchung ausgesetzt sind.

Gerade bei schwerem Kranbetrieb, z. B. in der Stahl- und Kupferproduktion, überall wo Gieß- und Beschiebungskrane im Einsatz sind, werden zur Lastaufnahme und Lastabgabe vorwiegend die gleichen Bereiche angefahren. Es wird vorwiegend in den gleichen Bereichen beschleunigt und gebremst. Das hat für den Horizontalträger zur Folge, dass – bei hohen Beanspruchungsgruppen – bereits relativ kleine Massenkräfte aus Anfahren und Bremsen des Krans ermüdungsrelevant und auch bemessungsbestimmend werden können. Kritische Stellen sind insbesondere die betroffenen Anschlüsse und bei Fachwerk-Horizontalträgern besonders die Knotenpunkte.

Bei schweren Kranen mit hoher Beanspruchungsgruppe, insbesondere bei Verkehr mehrerer schwerer Krane mit hoher Beanspruchungsgruppe, dominieren die Kranlasten auch die Bemessung von Bauteilen des Hallentragwerks, z. B. die Bemessung der Stützen und der Aussteifungsverbände. Häufig sind die anderen Einwirkungen auf die Stützen (z. B. Wind oder Schnee) nicht derart groß, dass deren Querschnitt eine Dimension erreicht, die zu einer Spannung aus den ermüdungsrelevanten Kranlasten führt, die unterhalb der Dauerfestigkeit bzw. unterhalb des Schwellenwerts der Ermüdungsfestigkeit liegt. Das heißt, auch auf Stützen oder Aussteifungsverbände können, bei schwerem Kranbetrieb und hoher Beanspruchungsgruppe, bemessungsrelevante Ermüdungslasten wirken, die bei der Bemessung zwingend berücksichtigt werden müssen.

Beim Austausch von Kranbahnträgern im Bestand kann das zu besonderen Schwierigkeiten führen. In der Regel wurden Stützen und Aussteifungsverbände nicht hinsichtlich Ermüdung betrachtet. Eine rechnerische Nachbewertung ohne Planung von Ertüchtigungsmaßnahmen reicht dann meistens nicht aus, um die aktuellen Anforderungen an die Ermüdungsfestigkeit zu erfüllen. Erschwerend kommt hinzu, dass gerade an Hallenstützen oft auch unterhalb der Kranbahn, im ermüdungsrelevanten Bereich, weitere Stahlbauteile (Träger, Knotenbleche, Rippen usw.) oder Halterungen für Anlagentechnik angeschlossen sind. Sie sind entweder bereits seit der Errichtung planmäßig vorhanden oder werden häufig im Zuge



**Bild 8** Beispiel: Riss im Schweißnahtübergang Längsnaht zwischen Lamellen  
Example: longitudinal crack at weld toe between flange plates

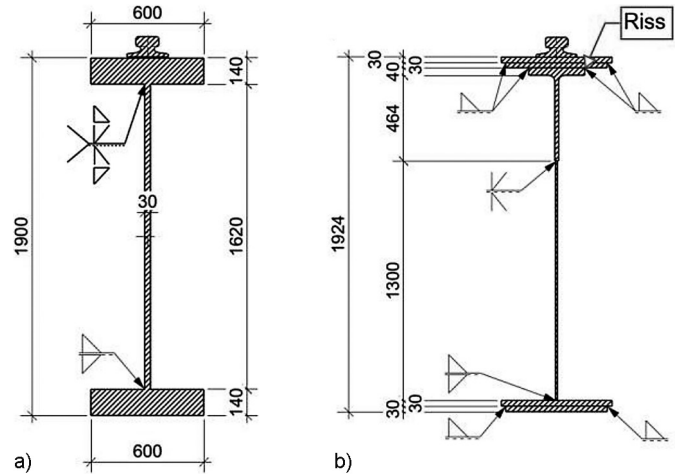
der Betriebszeit nachträglich angebracht. Alles in allem sind in der Regel viele Anschlüsse vorhanden, die sehr ungünstigen Kerbfalldetails zuzuordnen sind. Eine Erhöhung solcher Bauteile ist dann meistens nicht ohne Weiteres möglich. Es fehlt oft die Zugänglichkeit und störende Bauteile oder störende Anlagentechnik können nicht einfach entfernt werden.

Wie in solchen Fällen zu verfahren ist, ist ein sehr spezielles Thema und in dem aktuellen Normenwerk nicht geregelt.

## 5 Schwerer Kranbetrieb, Nennspannungskonzept und dicke Bleche

### 5.1 Warum dicke Bleche?

Bei schwerem Kranbetrieb werden oftmals Schweißträger mit kräftigen und dicken Flanschen benötigt. Unter dicken Blechen und dicken Flanschen können Bleche mit einer Erzeugnisdicke von mehr als 40 mm angesehen werden. Gerade, wenn Kranbahnträger im Bestand auszutauschen sind, sind dickere Bleche für die Flansche und Stege oft die einzige Möglichkeit, den gegenüber der Errichtungszeit gestiegenen Anforderungen hinsichtlich der Ermüdungsfestigkeit nachzukommen. Oftmals muss das Lichtraumprofil der Bestandskranbahnträger aufgrund von Störkanten eingehalten werden. Eventuell erfolgt auch mit dem Kranbahnträgeraustausch eine Lasterhöhung durch neue, größere Krane, die dann ebenfalls abzudecken ist. Heutzutage sind, ab einer bestimmten Liefermenge, dicke Bleche bis 200 mm in der notwendigen Qualität durchaus erhältlich [12, 13]. Thermomechanisch gewalzte Bleche können nach DIN EN 10025-4 [14] bis zu einer Dicke von 120 mm geliefert werden. Die Anwendung dicker Bleche bis 200 mm ist auch mit dem aktuellen Stahlbau-Regelwerk DIN EN 1993-1-10 [15] abgedeckt. Es ist somit, aufgrund der hohen Anforderun-

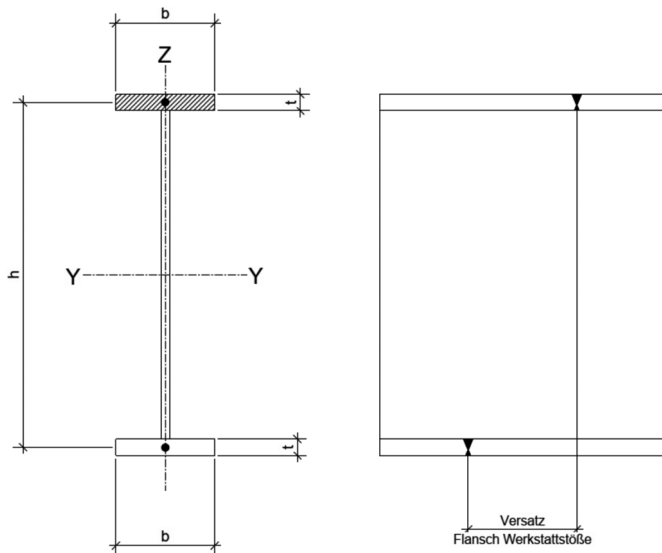


**Bild 9** Beispiel: a) Ersatzträger mit dicken Flanschblechen und b) Bestandträger mit Flanschlamellen  
Example: a) new crane runway girder with thick flanges and b) old crane runway girder with welded flanges

gen bei schwerem Kranbetrieb, i. d. R. nicht mehr zweckmäßig, notwendige dicke Flansche als geschweißte Lamellenpakete herzustellen. Neben dem höheren Schweißaufwand sind die Lamellenenden hinsichtlich ihrer Kerbwirkung sehr ungünstig ([10] Tabelle 8.5). Zudem können die Längsnähte zwischen den Lamellen ebenfalls ein besonderes Ermüdungspotenzial haben, da sich Spalte zwischen den Lamellen bei der Herstellung kaum vermeiden lassen und zu Ermüdungsschäden führen können [16]. In Bild 8 ist als Beispiel ein realer Schadensfall, ein Riss in der Verbindungsnaht zwischen den Blechlamellen, abgebildet. Zur Lage des Risses im Bestandträger siehe Bild 9. In Bild 9 ist auch zum Vergleich der neue Ersatzträger mit dicken Flanschen dargestellt. Er ist, bei gleichem Lichtraumprofil, für 50% höhere Krannutzlasten und für einen zusätzlichen Kran mit ebenfalls höherer Nutzlast ausgelegt.

### 5.2 Einfluss der Blechdicke beim Nennspannungskonzept

Nachweistechisch können dicke Bleche bei bestimmten Kerbfalldetails ungünstig sein, da aufgrund des Größeneinflusses ([5] S. 457) die Ermüdungsfestigkeit gegenüber dünneren Blechen bei manchen Kerbdetails reduziert ist. Nach DIN EN 1993-1-9 [10] Abschnitt 7.2.2 muss der Größeneinfluss mit einem Abminderungsfaktor entsprechend den Tabellen 8.1–8.10 in [10] berücksichtigt werden. Ein expliziter Abminderungsfaktor ist allerdings nur in der Tabelle 8.1 für Detail 14 (Schrauben und Gewindestangen unter Zug) und in der Tabelle 8.3 (quer laufende Stumpfnahte) für fast alle Details angegeben. An anderen Stellen – z. B. in der Tabelle 8.5 Detail 1 (Kreuz- und T-Stöße) – ergibt sich, aufgrund der größeren Blechdicke und des damit verbundenen größeren Abstands der Nahtübergänge, eine davon abhängige ungünstigere Kerbfall-einstufung.



**Bild 10** Kranbahnträgerquerschnitt und Ansicht im Bereich der Flansch-Stumpfstöße  
Cross section of crane runway girder and elevation in the area of flange butt joints

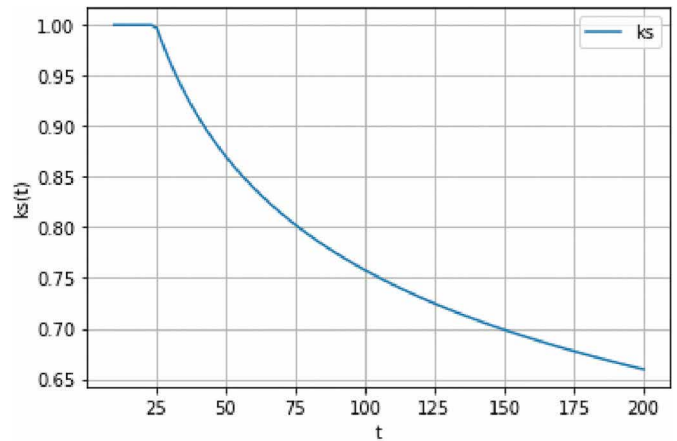
### 5.3 Einfluss der Blechdicke speziell bei quer laufenden Stumpfnähten

Bei Durchlaufträgern oder Einfeldträgern mit Längen größer als 20 m sind, aufgrund der kürzeren Lieferlängen für dicke Bleche, Bedarfsstöße erforderlich. Das heißt, es müssen beim Zusammenbau Stumpfstöße – z.B. in den Flanschen nach [10] Tabelle 8.3, Detail 2 – hergestellt werden.

Im Folgenden wird mit vereinfachten Ansätzen veranschaulicht, wie sich der Größeneinfluss auf das Ergebnis des Ermüdungsnachweises für den oben genannten Fall auswirkt.

Annahmen, Ansätze und Voraussetzungen:

- Der Kranbahnträger ist, wie bei schwerem Betrieb üblich, mit einem Horizontalträger seitlich zur Aufnahme der horizontalen Kranlasten ausgesteift. Der optimale Querschnitt weicht deshalb nicht wesentlich vom doppelsymmetrischen I-Querschnitt ab. Für die nachfolgenden Betrachtungen kann daher vereinfacht der Querschnitt nach Bild 10 angesetzt werden.
- Aufgrund der Länge des Kranbahnträgers und aufgrund der verfügbaren Lieferlängen für die dicken Bleche zur Herstellung der Flansche werden für die Flansche Stumpfstöße nach [10] Tabelle 8.3, Kerbdetail 2 vorgesehen (Bild 10).
- Ermüdungsrelevant sind im Rahmen dieser Betrachtung nur die Spannungsänderungen aus den vertikalen Einwirkungen „Kraneigengewicht“ und „Kran-Hublast“.
- Vereinfacht wird das Spannungsspiel der zu berücksichtigenden maximalen Randspannung im Flansch auf der sicheren Seite liegend mit Gl. (1) ermittelt.



**Bild 11** Faktor  $k_s$  zur Berücksichtigung des Größeneinflusses (nach [10] Tabelle 8.3)  
Thickness reduction factor  $k_s$  (acc. to [10] Table 8.3)

$$\Delta\sigma_{E,2} = \lambda_i \frac{\Delta M_y \cdot \varphi_{fat}}{h \cdot b \cdot t} \quad (1)$$

mit  $\lambda_i$  als schadensäquivalentem Beiwert und  $\varphi_{fat}$  beide nach [4].  $\Delta M_y$  ist die Schwingbreite des Biegemoments an der Nachweisstelle.

- Vereinfacht wird  $h$  (nach Bild 10 Abstand der Flanschschwerpunkte) als konstant angenommen. Das heißt, die Trägerhöhe würde sich abhängig von der Dicke der Flanschbleche ändern. Bei schwerem Kranbetrieb sind die Kranbahnträger i.d.R. relativ hoch, sodass der Fehler für tatsächlich konstante Trägerhöhe für die nachfolgenden Betrachtungen nicht relevant ist.
- Der Ermüdungsnachweis ([10] Gleichung (8.2)) wird unter Berücksichtigung des Größeneinflusses mit der reduzierten Ermüdungsfestigkeit  $\Delta\sigma_{C,red}$  ([10] Gleichung (7.1)) geführt. Das Ergebnis des Ermüdungsnachweises wird mit  $\eta$  bezeichnet. Somit ist

$$\eta = \frac{\gamma_{FF} \cdot \Delta\sigma_{E,2}}{\Delta\sigma_{C,red}} = \frac{\gamma_{FF} \cdot \Delta\sigma_{E,2}}{k_s \cdot \Delta\sigma_C} = \frac{\gamma_{FF} \cdot \gamma_{Mf} \cdot \Delta\sigma_{E,2}}{k_s \cdot \Delta\sigma_C} \quad (2)$$

mit den Teilsicherheitsbeiwerten  $\gamma_{FF}$  und  $\gamma_{Mf}$  nach [17].  $\Delta\sigma_C$  und  $k_s$  nach [10] Tabelle 8.3. Der Abminderungsfaktor  $k_s$  ist nach Gl. (3) zu ermitteln ([10] Tabelle 8.3). Der Wert ist in Bild 11 abhängig von der Blechdicke dargestellt.

$$k_s = \begin{cases} 1,0 & \text{falls } t \leq 25 \text{ mm} \\ \left(\frac{25}{t}\right)^{0,2} & \text{falls } t > 25 \text{ mm} \end{cases} \quad (3)$$

Werden nun die Gln. (1), (3) in die Gl. (2) eingesetzt, erhält man mit Gl. (4) das Ergebnis des Ermüdungsnachweises in Abhängigkeit von der Blechdicke  $t$ .

$$\eta(t) = \frac{\gamma_{FF} \cdot \gamma_{Mf} \cdot \lambda_1 \cdot \varphi_{fat} \cdot \Delta M_y}{k_s \cdot \Delta \sigma_C \cdot h \cdot b \cdot t} \quad (4)$$

$$= \frac{\gamma_{FF} \cdot \gamma_{Mf} \cdot \lambda_1 \cdot \varphi_{fat} \cdot \Delta M_y}{\Delta \sigma_C \cdot h \cdot b} \cdot \frac{1}{t \cdot k_s}$$

$$= \begin{cases} K \cdot \frac{1}{t} & \text{falls } t \leq 25 \text{ mm} \\ K \cdot \frac{1}{t \left(\frac{25}{t}\right)^{0,2}} & \text{falls } t > 25 \text{ mm} \end{cases}$$

mit

$$K = \frac{\gamma_{FF} \cdot \gamma_{Mf} \cdot \lambda_1 \cdot \varphi_{fat} \cdot \Delta M_y}{\Delta \sigma_C \cdot h \cdot b}$$

Erhöht man die Blechdicke  $t$ , indem man sie mit einem Faktor  $\alpha$  multipliziert, dann wird sich das Ergebnis des Ermüdungsnachweises um einen bestimmten Faktor reduzieren, der nachfolgend mit  $\mu$  bezeichnet wird. Das heißt,  $\eta(\alpha t) = \mu \cdot \eta(t)$ . In-Verhältnis-Setzen von  $\eta(\alpha t)$  und  $\eta(t)$  ergibt mit Gl. (5) den Faktor  $\mu$ , der dort nur für den interessanten Blechdickenbereich größer als 25 mm ermittelt ist.

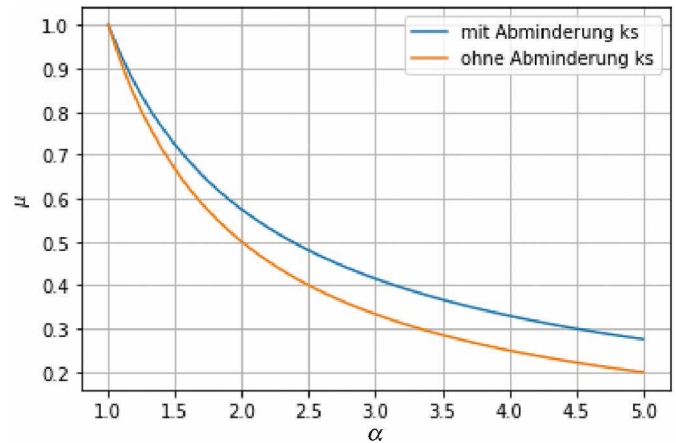
$$\mu(\alpha) = \frac{K \cdot \frac{1}{\alpha t \left(\frac{25}{\alpha t}\right)^{0,2}}}{K \cdot \frac{1}{t \left(\frac{25}{t}\right)^{0,2}}} = \frac{\alpha^{0,2}}{\alpha} = \alpha^{-0,8} \quad (5)$$

Der Verlauf von  $\mu$  in Abhängigkeit vom Erhöhungsfaktor  $\alpha$  für die Blechdicke wird in Bild 12 dargestellt.

Beispielsweise kann mit Bild 12 abgeschätzt werden: Eine Erhöhung der Flanschdicke um den Faktor  $\alpha = 1,5$  ergibt einen Reduktionsfaktor  $\mu \approx 0,72$ . Somit ist das Ergebnis des Ermüdungsnachweises  $\eta(1,5 \cdot t) = 0,72 \cdot \eta(t)$ . Anders ausgedrückt, eine Erhöhung der Flansch-Blechdicke um 50% führt zu einer Reduzierung der Ausnutzung um ungefähr  $(1 - \mu) \cdot 100\% = 28\%$ . Dieser Wert für die Reduktion der Ausnutzung ist wegen der vereinfachten Annahmen ein oberer Grenzwert. Ohne Größeneinfluss wäre  $\mu = \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{1,5} \approx 0,67$ . Das heißt, das Ergebnis des Ermüdungsnachweises wäre ungefähr 7% besser. Beim Ermitteln und Nachweisen von Schädigungen kann der Unterschied dann allerdings ungefähr 24% ausmachen, da dort das Ergebnis des Ermüdungsnachweises mit der dritten Potenz eingeht. Sofern mehrere Krane verkehren, wirkt sich der Größeneinfluss entsprechend noch stärker aus.

## 6 Strukturspannungskonzept eine Alternative?

Ermüdungsnachweise für Kranbahnträger werden in der Praxis aufgrund der Anwenderfreundlichkeit fast aus-



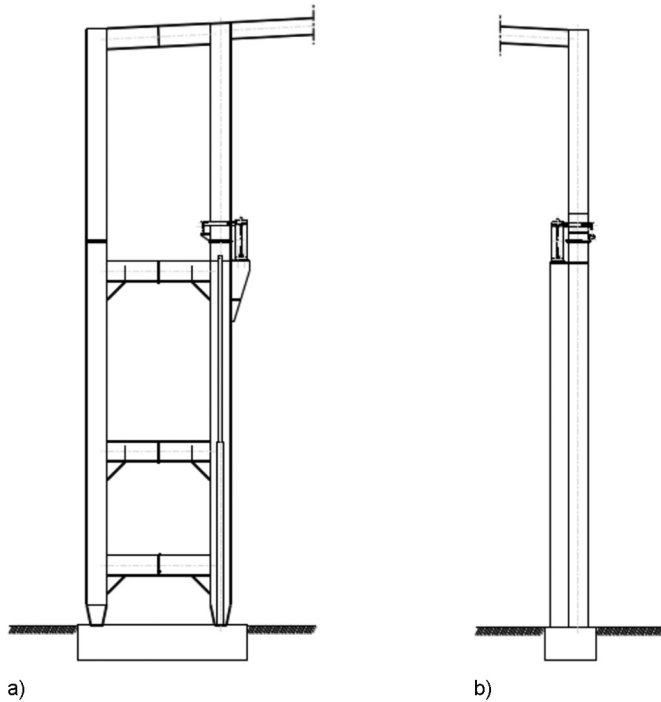
**Bild 12** Abhängigkeit zwischen Flanschdickenerhöhung und Reduktion der Ausnutzung beim Ermüdungsnachweis  
Functional relation between increase of flange thickness and the reduction of the fatigue check value

schließlich mit dem Nennspannungskonzept geführt. Die Kerbfalldetails in DIN EN 1993-1-9 [10] decken die üblichen Details, die bei Kranbahnträgern auftreten, ab. Es sind jedoch, wie bereits oben beschrieben, gerade bei schwerem Kranbetrieb nicht nur die Kranbahnträger ermüdungsgefährdet. Es werden häufig ebenfalls die Auflagerkonsolen ermüdungsrelevant beansprucht, gegebenenfalls auch die Stützen. Die Auflagerkonsolen sind im Fall von Vollwandstützen entweder an Stützen angebrachte Kragkonsolen (Bild 13a) oder geschweißte Stützenquerschnitte mit integrierter Auflagerkonsole (Bilder 13b, 14).

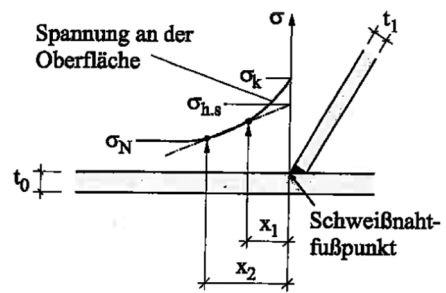
Bei schwerem Kranbetrieb sind die Konsolen von ihren Abmessungen derart, dass die Beanspruchungen zum Nachweis der Ermüdungsfestigkeit nicht mehr nach Balkentheorie ermittelt werden können (Bild 14). In der Regel sind, zur Spannungsberechnung, FE-Berechnungen mit Flächenelementen oder – bei sehr dicken und gedrunge- nen Querschnitten – mit Volumenelementen notwendig. Oftmals sind die mit FE-Berechnungen berechneten Spannungsverläufe sehr komplex und eine Einstufung der Ergebnisse in Nennspannungen, zur Gegenüberstellung in klassifizierte Kerbfälle nach DIN EN 1993-1-9 [10] Tabellen 8.1–8.5, ist nicht geregelt und daher oft so konservativ, dass der Ermüdungsnachweis nicht gelingt. Siehe auch das Kapitel „Anmerkung zur Berechnung der Spannungsspiele in den Konsolen“ in [18] Abschnitt 15.4.7. Es empfiehlt sich deshalb bei großen Konsolen bei schwerem Kranbetrieb ein Nachweis mit dem Strukturspannungskonzept. Die Besonderheiten, die sich bei der Anwendung des Strukturspannungskonzepts ergeben, werden daher nachfolgend erläutert.

### 6.1 Allgemeines zum Strukturspannungskonzept

Nach DIN EN 1993-6 [11] sollen Ermüdungsnachweise für Kranbahnträger nach DIN EN 1993-1-9 [10] geführt werden. Als Nachweiskonzepte stehen damit normativ zur Bemessung von Kranbahnträgern das Nennspan-



**Bild 13** Halle mit Stützen für schweren Kranbetrieb mit Kragkonsolen (a) und als Schweißkonstruktion mit integrierter Auflagerkonsole (b)  
 Steel building with columns for heavy-duty crane loads with cantilevers (a) and with welded columns with integrated support area (b)



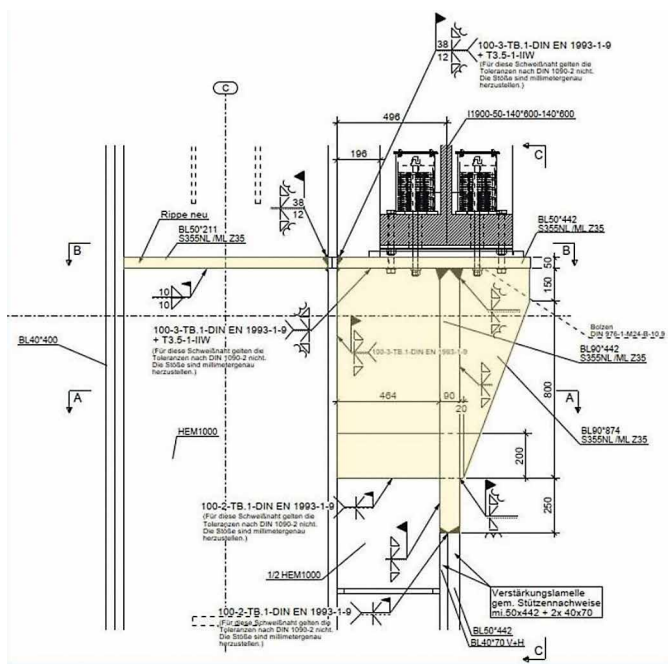
$\sigma_k$  Kerbspannung infolge Nahtgeometrie  
 $\sigma_{h,s}$  Strukturspannung  
 $\sigma_N$  Nennspannung  
 $x_1, x_2$  Extrapolationspunkte

**Bild 15** Definition von Nennspannung, Strukturspannung und örtlicher Kerbspannung (aus [7])  
 Definition of nominal stress, hot-spot stress and effective notch stress (from [7])

Schweißverbindungen entwickelt, bei denen die Bestimmung der Nennspannung wegen komplizierter geometrischer und räumlicher Effekte nicht mehr ausreichend ist, um eine Aussage hinsichtlich der Ermüdungsfestigkeit vornehmen zu können, und bei denen die geometrischen Verhältnisse nicht mit einem tabellierten Kerbfall übereinstimmen.“

Darüber hinaus kann das Strukturspannungskonzept gegenüber dem Nennspannungskonzept einen wirtschaftlichen Vorteil bringen, da es auch als genauer eingestuft werden kann. Strukturspannungen erfassen hierbei die Spannungserhöhungen infolge der globalen Geometrie und Steifigkeit. Das Strukturspannungskonzept berücksichtigt die Geometrieänderung auch von dickwandigen Strukturen, vernachlässigt aber Spannungsänderungen, die aus der lokalen Schweißnahtgeometrie bzw. aus der Schweißnahtkerbe resultieren. Mit Strukturspannung (engl. hot-spot stress) wird eine fiktiv ermittelte lokale Bezugsspannung am Schweißnahtübergang bezeichnet ([7] Abschnitt 6.3.6.2) (Bild 15).

Die Kerbwirkung durch die Schweißnaht wird in der Ermüdungsfestigkeit berücksichtigt und deshalb, wie bereits erwähnt, in der Strukturspannung nicht erfasst.



**Bild 14** Beispiel für eine integrierte Auflagerkonsole bei schwerem Kranbetrieb  
 Example for an column integrated support structure for heavy-duty loaded crane runway girder

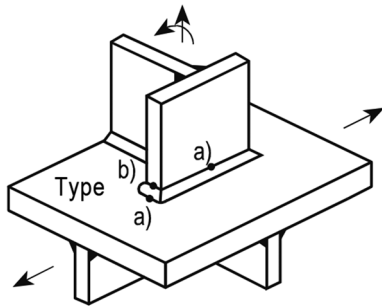
nungskonzept und das Strukturspannungskonzept zur Verfügung.

Die nachstehende Beschreibung zum Strukturspannungskonzept ist [7] Abschnitt 6.3.6.2 entnommen. „Das Strukturspannungskonzept stellt eine Weiterentwicklung des Nennspannungskonzepts dar. Es wurde speziell für

**6.2 Anwendung des Strukturspannungskonzepts nach DIN EN 1993-1-9 [10]**

**6.2.1 Nachweisführung und Strukturspannungen**

Die Ermüdungsnachweise werden analog zum Nennspannungskonzept geführt. Beim Nachweis nach dem Nennspannungskonzept werden den Spannungsschwingbreiten von Nennspannungen oder korrigierten Nennspannungen die Ermüdungsfestigkeiten bestimmter Konstruktionsdetails gegenübergestellt. Beim Nachweis nach dem Strukturspannungskonzept werden den Spannungsschwingbreiten von Strukturspannungen die Ermüdungsfestigkeiten bestimmter Kerbfälle gegenübergestellt.



**Bild 16** Typen von Nahtübergängen (aus [19] Fig. 2.12)  
Types of hot spots (from [19] Fig. 2.12)

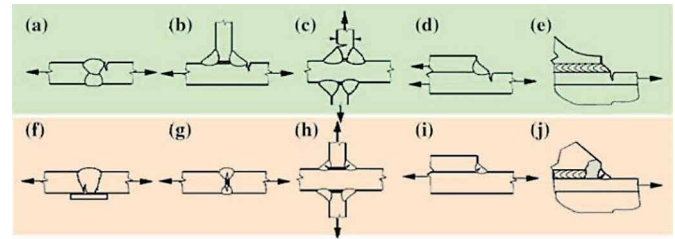
Erläuterungen, wie die Strukturspannungen  $\sigma_{hs}$  zu ermitteln sind, sind in DIN EN 1993-1-9 [10] nicht gegeben. Empfehlungen zur Bestimmung der Strukturspannung sind z. B. in der IIW-Richtlinie [19] enthalten. Strukturspannungen werden dabei durch Extrapolation der tatsächlichen Spannungen in der Nähe der Schweißverbindung hin zum Schweißnahtübergang ermittelt. Strukturspannungen können entweder durch Messungen an realen Tragwerken oder durch numerische Berechnungen bestimmt werden. Im Zuge einer FE-Analyse ist besonders die Abbildung der Geometrie im Bereich der Schweißnähte und Lagerungsbedingungen wichtig. In definierten Abständen werden die Spannungen senkrecht zur Schweißnaht (nach den Empfehlungen aus [19]) mit einer linear-elastischen Berechnung an zwei oder drei Stellen ermittelt. Über eine Extrapolation können daraus dann die Strukturspannungen  $\sigma_{hs}$  am Schweißnahtübergang berechnet werden.

Sowohl für die Ermittlung von Strukturspannungen wie auch für die Ermittlung der Ermüdungsfestigkeiten wird grundlegend zwischen Nahtübergang Typ „a“ und Nahtübergang Typ „b“ unterschieden (Bild 16). Typ „a“ ist der Nahtübergang an einer Blechoberfläche (breite Fläche) und Typ „b“ an einer Blechkante (schmale Fläche).

## 6.2.2 Ermüdungsfestigkeit und Anwendungsgrenzen

Die Ermüdungsfestigkeiten für die Verwendung von Strukturspannungen sind in der Norm DIN EN 1993-1-9 [10] Anhang B für bestimmte Kerbfälle angegeben. Sie gelten für die Nahtübergänge von Stumpfnähten und für die Nahtübergänge von Kehlnähten an Anschlüssen und Kreuzstößen. Das heißt, die Anwendung des Strukturspannungskonzepts ist beschränkt auf Schweißverbindungen, bei denen eine Rissbildung am Nahtübergang zu erwarten ist (Bild 17 (a)–(e)). Für Anschlüsse nach Bild 17 ((f)–(j) – Rissbildung an der Schweißnahtwurzel) und für nicht geschweißte Bauteile ist das Strukturspannungskonzept zur Beurteilung des Ermüdungsverhaltens nicht definiert und nicht anwendbar.

Eine weitere Bedingung für die Anwendbarkeit des Strukturspannungskonzepts ist, dass die ermüdungsrelevante Beanspruchung nahezu senkrecht zur Schweißnahtlängsrichtung wirken muss. Bei zweiachsigen Spannungszu-



**Bild 17** Geschweißte Anschlüsse mit unterschiedlichen Orten der Rissbildung (aus [19]) – Details (a)–(e) sind Details, für die das Strukturspannungskonzept anwendbar ist, Details (f)–(j) sind Details, für die das Strukturspannungskonzept nicht anwendbar ist  
Various locations of crack propagation in welded joints (from [19]) – details (a)–(e) are details for which the structural hot-spot stress is defined, details (f)–(j) are details for which the structural hot-spot stress is not defined

ständen wird die Hauptspannung benutzt, die innerhalb eines Winkels von  $60^\circ$  zur Normalen zur Schweißnahtlängsrichtung wirkt. Für die andere Hauptspannung sollte, falls relevant, ein Nachweis mit dem Nennspannungskonzept geführt werden.

Es ist noch zu beachten, dass die Ermüdungsfestigkeiten bei dickeren Blechen zur Berücksichtigung des Größeneinflusses abzumindern sind. In der aktuellen Norm DIN EN 1993-1-9 [10] ist allerdings nicht angegeben, wie der Größeneinfluss berücksichtigt werden soll. Die Vorgaben zur Berücksichtigung der Größenabhängigkeit in [10] Abschnitt 7.2.2 beziehen sich ausdrücklich nur auf die Tabellen 8.1–8.10 der Norm. Angaben zur Berücksichtigung des Größeneinflusses beim Strukturspannungskonzept finden sich im Entwurf prEN 1993-1-9 [20] und in der IIW-Richtlinie [19].

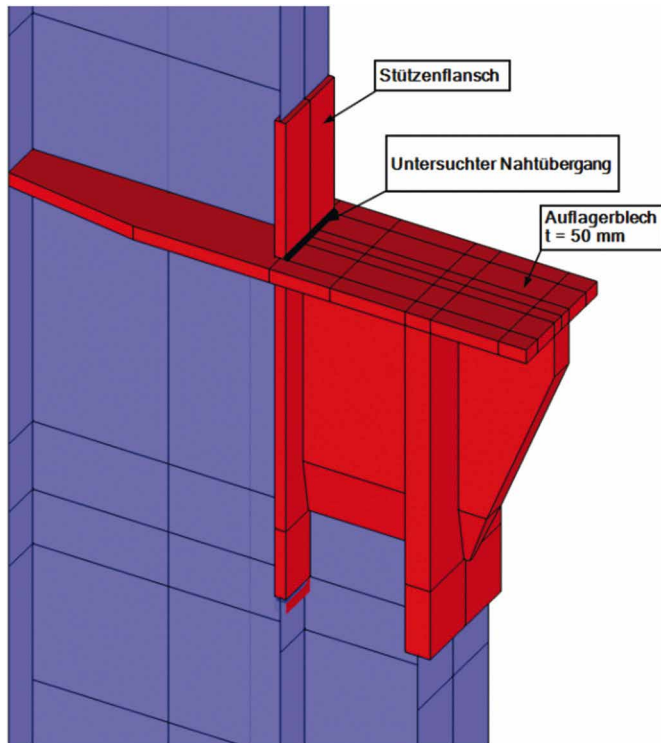
Für Nahtübergänge vom Typ „a“ sind nach beiden Regelwerken Abminderungen vorzunehmen. Die Vorgaben dazu sind in den beiden Regelwerken jedoch unterschiedlich. Für Nahtübergänge vom Typ „b“ braucht nach beiden Regelwerken kein Größeneinfluss berücksichtigt werden.

## 6.3 Beispiel: Anwendung bei Kranbahnkonsole

Beispielhaft wird die Anwendung des Strukturspannungskonzepts an einer integrierten Auflagerkonsole (s. Bild 14) gezeigt. Exemplarisch wird für den in Bild 18 gekennzeichneten Schweißnahtübergang ein Ermüdungsnachweis mit dem Strukturspannungskonzept nach DIN EN 1993-1-9 [10] in Verbindung mit der IIW-Richtlinie [19] geführt.

### 6.3.1 Beschreibung des Beispiel-FE-Modells

Im vorliegenden Fall wurde das statische System der Stütze als Stabwerk mit Balkenelementen modelliert. Zur genaueren Erfassung der Randbedingungen der Konsole wurde der Stützenquerschnitt in der näheren Umgebung der Konsole in Flächenelemente aufgelöst. Für die Konso-



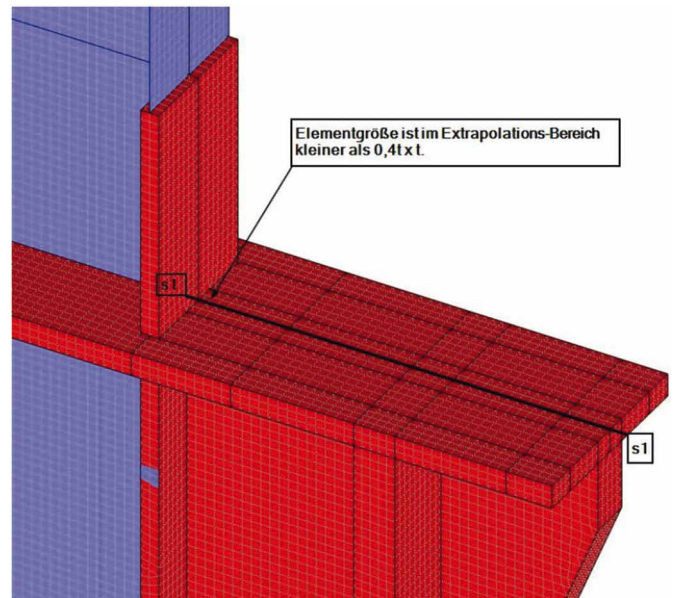
**Bild 18** 3D-Darstellung Konsole  
Three-dimensional view of support structure

le selbst wurden aufgrund der sehr dicken und gedungenen Blechquerschnitte Volumenelemente verwendet. In Bild 18 ist die Konsole (rot) mit einem Ausschnitt des umgebenden Stützenbereichs, der mit Flächenelementen (blau) abgebildet ist, dargestellt.

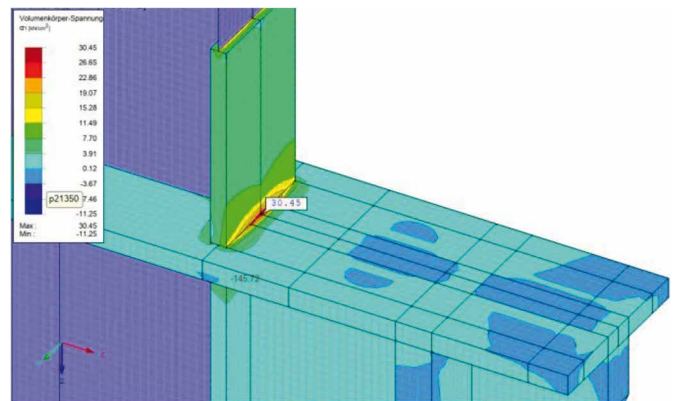
### 6.3.2 Berechnung der Strukturspannungen

Zur korrekten Berechnung der Strukturspannungen sind die Randbedingungen und die Vorgaben nach der IIW-Richtlinie [19] zu erfüllen. Es werden dort u. a. Vorgaben gemacht zum FE-Modell, zu den Anforderungen an die finiten Elemente selbst, zum FE-Netz und wie die Werte für Strukturspannungen zu ermitteln sind. Die Vorgaben sind unterschiedlich, je nachdem, ob man Flächenelemente oder Volumenelemente verwendet, ob die Nahtgeometrie modelliert wird oder nicht, ob ein feineres FE-Netz oder ein gröberes FE-Netz verwendet wird, welche Methode gewählt wird: Linearisierung über die Blechdicke oder Extrapolation der Spannungen über mehrere Stützstellen an der Blechoberfläche auf den Nahtübergang usw. Darauf hier im Detail einzugehen, würde jedoch den Rahmen dieses Beitrags sprengen.

Im vorliegenden Fall, bei dem betrachteten Schweißnahtübergang, handelt es sich um einen Nahtübergang vom Typ „a“. Es wurden Volumenelemente und ein relativ feines Netz gewählt. Das heißt, die Elemente dürfen nach [19] nicht größer als  $0,4t \times t$  sein. Dabei ist  $t$  die jeweilige Blechdicke. Im vorliegenden Fall werden die Anforderun-



**Bild 19** Darstellung FE-Netz und Schnittführung für die Extrapolation der Strukturspannung  
FE-mesh and section for hot-spot stress extrapolation



**Bild 20** Beispiel: Darstellung der relevanten Spannungen  
Example: figure of the relevant stresses

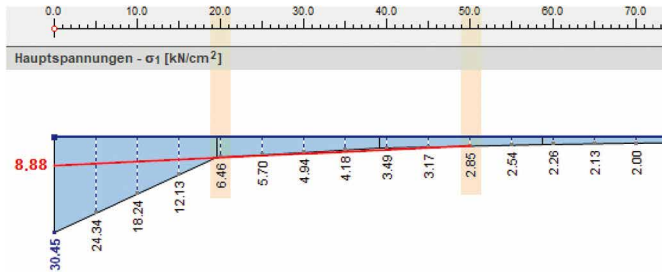
gen an die Elementgröße für den relevanten Bereich vor dem Schweißnahtübergang erfüllt (Bild 19).

Das Ergebnis der Berechnung der maximalen Hauptspannung  $\sigma_1$ , die senkrecht zur Schweißnahtlängsrichtung wirkt, ist in Bild 20 dargestellt. Die minimale Hauptspannung ergibt sich im vorliegenden Fall aus der bezüglich Kranlasten unbelasteten Konsole. Das heißt,  $\sigma_1 = 0 \text{ kN/cm}^2$ . Somit zeigen die in Bild 20 gezeigten Hauptspannungen  $\sigma_1$  bereits die Spannungsschwingbreite  $\Delta\sigma_1$ .

Für ein relativ feines Netz und einen Nahtübergang vom Typ „a“ ergibt sich die Strukturspannung  $\sigma_{hs}$  am Nahtübergang nach [19] zu

$$\sigma_{hs} = 1,67 \cdot s_{0,4t} - 0,67 \cdot s_{1,0t}$$

mit der jeweiligen Hauptspannung senkrecht zur Schweißnahtlängsrichtung an den Stützstellen  $x_1 = 0,4t$  und  $x_2 = 1,0t$ .



**Bild 21** Beispiel: Extrapolation der Strukturspannung im Schnitt s1-s1  
Example: hot-spot stress extrapolation in section s1-s1

Im betrachteten Fall ist die Blechdicke des Blechs  $t = 50 \text{ mm}$ . Somit sind die Stützstellen  $x_1 = 0,4t = 0,4 \cdot 50 = 20 \text{ mm}$  und  $x_2 = 1,0t = 50 \text{ mm}$ . Da die Nahtgeometrie nicht modelliert wurde (Bild 19), wird die Extrapolation nicht auf den Nahtübergang am Auflagerblech, sondern konservativ auf die Schnittkante der Blechoberflächen zwischen Stützenflansch und Auflagerblech durchgeführt. Damit können die Spannungen an den Stützstellen aus Bild 21 entnommen werden.

$$\sigma_{0,4t} = 6,46 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \text{ und } \sigma_{1,0t} = 2,85 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}.$$

Das heißt, die Strukturspannung im Schnitt s1-s1 ist

$$\sigma_{\text{hs}} = 1,67 \cdot 6,46 - 0,67 \cdot 2,85 \approx 8,88 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Da  $\sigma_{1,\text{min}} = 0$  ist, gilt im vorliegenden Fall  $\sigma_{\text{hs}} = \Delta\sigma_{\text{hs}}$ . Mit dem schadensäquivalenten Beiwert  $\lambda_i = 0,794$  für die Beanspruchungsklasse S6 und dem dynamischen Vergrößerungsfaktor  $\varphi_{\text{fat}} = 1,15$  erhält man

$$\Delta\sigma_{\text{hs,E2}} = \lambda_i \cdot \varphi_{\text{fat}} \cdot \Delta\sigma_{\text{hs}} = 0,794 \cdot 1,15 \cdot 8,88 = 8,1 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

### 6.3.3 Ermüdungsnachweis

Im vorliegenden Fall wird die Schweißnaht wie in Bild 22 ausgeführt. Somit gelten nach DIN EN 1993-1-9 [10] Tabelle B.1 das Konstruktionsdetail 3 und Kerbfall 100.

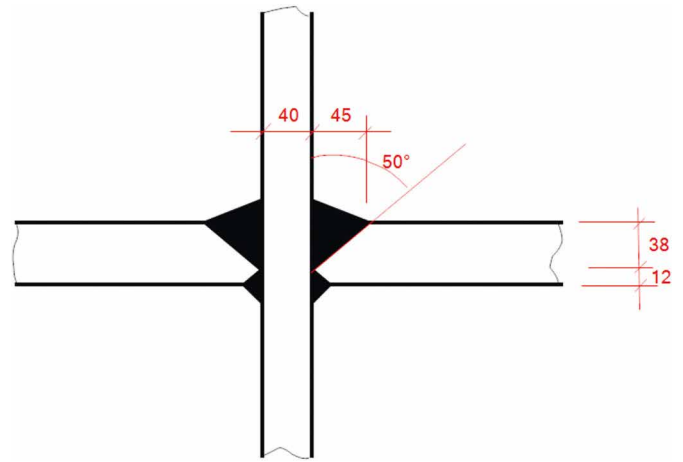
Da das Auflagerblech dicker als 25 mm ist, muss der Größeneinfluss berücksichtigt werden. Somit folgt für die Ermüdungsfestigkeit

$$\Delta\sigma_{\text{C,red}} = k_s \cdot \Delta\sigma_{\text{C}}$$

Für den Faktor  $k_s$  gilt nach der IIW-Richtlinie [19] Gleichung (3.6)

$$k_s = f(t) = \left( \frac{t_{\text{ref}}}{t} \right)^n$$

mit  $n = 0,3$  für „as-welded“,  $t_{\text{ref}} = 25 \text{ mm}$ .



**Bild 22** Beispiel: Schweißnahtanschluss des Auflagerblechs an den Stützenflansch  
Example: butt joint of upper plate to flange of column

Nach [19] Fig. 3.8 und Gleichung (3.6a) folgt weiterhin

$$\frac{L}{t} = \frac{40+45}{50} = \frac{85}{50} = 1,7 < 2$$

somit

$$t_{\text{eff}} = \max(0,5 \cdot L, t_{\text{ref}}) = \max(0,5 \cdot 85, 25) = 42,5 \text{ mm}$$

Damit ist

$$k_s = f(50 \text{ mm}) = \left( \frac{25}{42,5} \right)^{0,3} = 0,853$$

und

$$\Delta\sigma_{\text{C,red}} = 0,853 \cdot 100 = 85,3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Somit ergibt sich für den Ermüdungsnachweis, unter Berücksichtigung der Teilsicherheitsfaktoren  $\gamma_{\text{Pf}} = 1,0$  und  $\gamma_{\text{Mf}} = 1,0$  (vier Inspektionsintervalle, [17] Tabelle NA.3), das folgende Ergebnis

$$\frac{\gamma_{\text{Pf}} \cdot \Delta\sigma_{\text{hs,E2}}}{\frac{\Delta\sigma_{\text{C,red}}}{\gamma_{\text{Mf}}}} = \frac{1,0 \cdot 8,1}{\frac{8,53}{1,0}} = 0,95 < 1,0$$

Der Ermüdungsnachweis ist an der betrachteten Stelle erfüllt.

## 7 Zusammenfassung

Dieser Beitrag zeigt in seinen einzelnen Abschnitten auf, welche Besonderheiten es bei dem Austausch von Kranbahnträgern für schweren Kranbetrieb im Bestand zu berücksichtigen gilt.

Da es sich bei jedem Industriegebäude mit schwerem Kranbahnbetrieb (B5 und B6 nach DIN 4132 [3] oder S5–S9 nach DIN EN 1991-3 [4]) um ein individuelles Bauwerk mit den spezifischen Besonderheiten der betreffenden Produktion (bspw. Hüttenbetrieb oder Kupferherstellung etc.) handelt, ist jeder Kranbahnaustausch individuell mit all seinen Randbedingungen zu planen. Hierbei sind neben den erschwerten Randbedingungen beim Austausch der Kranbahnen in einer bestehenden Produktionsanlage mit ihren beengten Platzverhältnissen sowohl mögliche Produktionsstillstände und enge Terminvorgaben als auch Störkanten, wie vorhandene nicht demontierbare Einbauten, und vieles mehr zu berücksichtigen.

Bereits im Stadium der ersten Vorplanung sollte man die Möglichkeiten der Montage im Blick haben, da diese die Konstruktion wesentlich beeinflussen kann. Dies betrifft mögliche Standplätze der Krane, Hebegewichte oder Auslegerlängen als auch die Tragfähigkeit vorhandener Untergründe zur Ableitung der auftretenden Stützkräfte.

So kann es durchaus sein, dass die Montage die Auswahl des neuen statischen Systems, und damit die Ausbildung der Konstruktion (Abschn. 3 ff.), beeinflusst und nicht die materialoptimierte Lösungsvariante eines Schweißträgers der als Mehrfeldträger ausgebildet wird, zum Tragen kommt. Dass Bestandsbauteile wie Stützen, Konsolen und Fundamente in die Betrachtung mit einbezogen werden müssen, sei hier nur am Rande erwähnt.

Neben den reinen Systemkriterien (Ein-, Zwei- oder Mehrfeldträger) sind hier auch mögliche Varianten und Besonderheiten bei der Konzeption und Ausbildung der

notwendigen Horizontalaussteifung zu berücksichtigen. Unter Abschn. 4.2 wurde aufgeführt, welche Besonderheiten es gibt, die bei schwerem Kranbetrieb zu berücksichtigen sind. Gerade beim schweren Kranbetrieb, bei dem bspw. Gieß- und Beschickungskräne zum Einsatz kommen, werden zur Lastaufnahme und Lastabnahme vorwiegend die gleichen Bereiche angefahren. Dies hat zur Konsequenz, dass die horizontalen Massenkräfte aus Anfahren und Bremsen beim Ermüdungsnachweis zu berücksichtigen sind und dieser dann auch häufig für einzelne Bauteile bemessungsrelevant wird. Im Gegensatz zu früher werden dicke Gurte ( $t > 20$  mm), die bei Schweißträgerkonstruktionen von Kranbahnträgern häufig eingesetzt werden, nicht mehr als Lamellenpakete ausgeführt (hohe Schweißkosten, Ermüdungsgefahr aus Zwängungen infolge der Radlasteinleitung etc.), sondern über heute verfügbare Bleche mit Blechdicken bis 100 mm und größer. Im Abschn. 5 sind daher die Grenzen und Nachteile des standardmäßigen Nennspannungskonzepts für die Ermüdungsnachweise bei dicken Blechen näher ausgeführt und es wird dargelegt, was hier zu beachten ist, während in Abschn. 6 die Anwendung des Strukturspannungskonzepts – eine Weiterentwicklung des Nennspannungskonzepts – näher erläutert wird.

Insgesamt bedeutet die Addition all dieser Punkte, dass der Austausch von Kranbahnträgern für schweren Kranbetrieb professionell geplant werden muss, um zu verhindern, dass in dem üblicherweise vorgegebenen kurzen Zeitfenster des möglichen Austauschs keine bösen Überraschungen zutage treten, die zu Umplanungen, Zeitverschiebungen und damit zu mehrstelligen Stillstands- und Ausfallkosten führen können.

## Literatur

- [1] Feldmann, M.; Citarelli, S. (2019) *Radlastinduzierte Ermüdung bei Kranbahnträgern schwerer Hüttenkrane*. Forschungsbericht FOSTA P1209.
- [2] Dürr, A.; Dreiling, A.; Bartenbach, J. (2019) *Kranbahnen und Kranhallen im Bestand – Bewertung, Schadensbilder, Weiterbetrieb*. Stahlbau 88, Sonderheft Kranbahnen, S. 39–56. <https://doi.org/10.1002/stab.201900091>
- [3] DIN 4132 (1981) *Kranbahnen; Stahltragwerke; Grundsätze für Berechnung, bauliche Durchbildung und Ausführung*. Berlin: Beuth.
- [4] DIN EN 1991-3:2010-12 (2010) *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 3: Einwirkungen infolge von Kranen und Maschinen; Deutsche Fassung EN 1991-3:2006*. Berlin: Beuth. Ausgabe Dez. 2010.
- [5] Kuhlmann, U.; Euler, M. (2017) *Bemessung von Kranbahnen nach DIN EN 1993-6* in: Kuhlmann, U. [Hrsg.] *Stahlbaukalender 2017*. Berlin: Ernst & Sohn.
- [6] DIN EN 1991-3/NA:2019-02 (2019) *Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 3: Einwirkungen infolge von Kranen und Maschinen*. Berlin: Beuth. Ausgabe Feb. 2019.
- [7] Kuhlmann, U.; Dürr, A.; Günther, H.-P. (2003) *Kranbahnen und Betriebsfestigkeit* in: Kuhlmann, U. [Hrsg.] *Stahlbaukalender 2003*. Berlin: Ernst & Sohn.
- [8] Steinmann, R. (2002) *Konstruktive Gestaltung von Kranbahnträgern* in: Neue Regeln für Betriebsfestigkeit und Kranbahnen (Seminarband). Universität Stuttgart, Institut für Konstruktion und Entwurf [Hrsg.], Bauen mit Stahl e.V. Stuttgart, 25. Juli 2002.
- [9] Seeßelberg, C. (2016) *Kranbahnen – Bemessung und konstruktive Gestaltung nach Eurocode*. 5. Aufl. Berlin: Beuth.
- [10] DIN EN 1993-1-9:2010-10 (2010) *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-9: Ermüdung; Deutsche Fassung EN 1993-1-9:2005+AC:2009*. Berlin: Beuth. Ausgabe Okt. 2010.
- [11] DIN EN 1993-6:2010-12 (2010) *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 6: Kranbahnen; Deutsche Fassung EN 1993-6:2007+AC:2009*. Berlin: Beuth. Ausgabe Dez. 2010.
- [12] DIN EN 10025-2:2019-10 (2019) *Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen – Teil 2: Technische Lieferbedingungen für unlegierte Baustähle; Deutsche Fassung EN 10025-2:2019*. Berlin: Beuth. Ausgabe Okt. 2019.
- [13] DIN EN 10025-3:2019-10 (2019) *Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen – Teil 3: Technische Lieferbedingungen für normalgeglühte/normalisierend gewalzte schweißgeeignete Feinkornbaustähle; Deutsche Fassung EN 10025-3:2019*. Berlin: Beuth. Ausgabe Okt. 2019.

- [14] DIN EN 10025-4:2019-10 (2019) *Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen – Teil 4: Technische Lieferbedingungen für thermomechanisch gewalzte schweißgeeignete Feinkornbaustähle; Deutsche Fassung EN 10025-4:2019*. Berlin: Beuth. Ausgabe Okt. 2019.
- [15] DIN EN 1993-1-10:2010-12 (2010) *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-10: Stahlsortenauswahl im Hinblick auf Bruchfähigkeit und Eigenschaften in Dickenrichtung; Deutsche Fassung EN 1993-1-10:2005+AC:2009*. Berlin: Beuth. Ausgabe Dez. 2010.
- [16] Eichenmüller, W. (1967) *Schäden an geschweißten Kranbahnträgern*. Schweißen und Schneiden 19, H. 5, S. 222–225.
- [17] DIN EN 1993-6/NA:2017-11 (2017) *Nationaler Anhang – National festgelegt Parameter – Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 6: Kranbahnen*. Berlin: Beuth. Ausgabe Nov. 2017.
- [18] Seeßelberg, C. (2020) *Kranbahnen – planen, konstruieren, berechnen, fertigen, inspizieren, ertüchtigen*. 6. Aufl. Berlin: Beuth.
- [19] Hobbacher, A. F. (2019) *Recommendations for Fatigue Design of Welded Joints and Components*. Cham: Springer.
- [20] prENDIN EN 1993-1-9:2020(E) (2020) *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-9: Ermüdung*. Berlin: Beuth.

**Autoren**

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

Jochen Bartenbach  
jochen.bartenbach@hochtief.de  
HOCHTIEF Engineering GmbH, Consult IKS  
Lyoner Straße 25  
60528 Frankfurt am Main

Peter Kretschmar  
peter.kretschmar@hochtief.de  
HOCHTIEF Engineering GmbH, Consult IKS  
Lyoner Straße 25  
60528 Frankfurt am Main

Marco Rieche  
marco.rieche@hochtief.de  
HOCHTIEF Engineering GmbH, Consult IKS  
Lyoner Straße 25  
60528 Frankfurt am Main

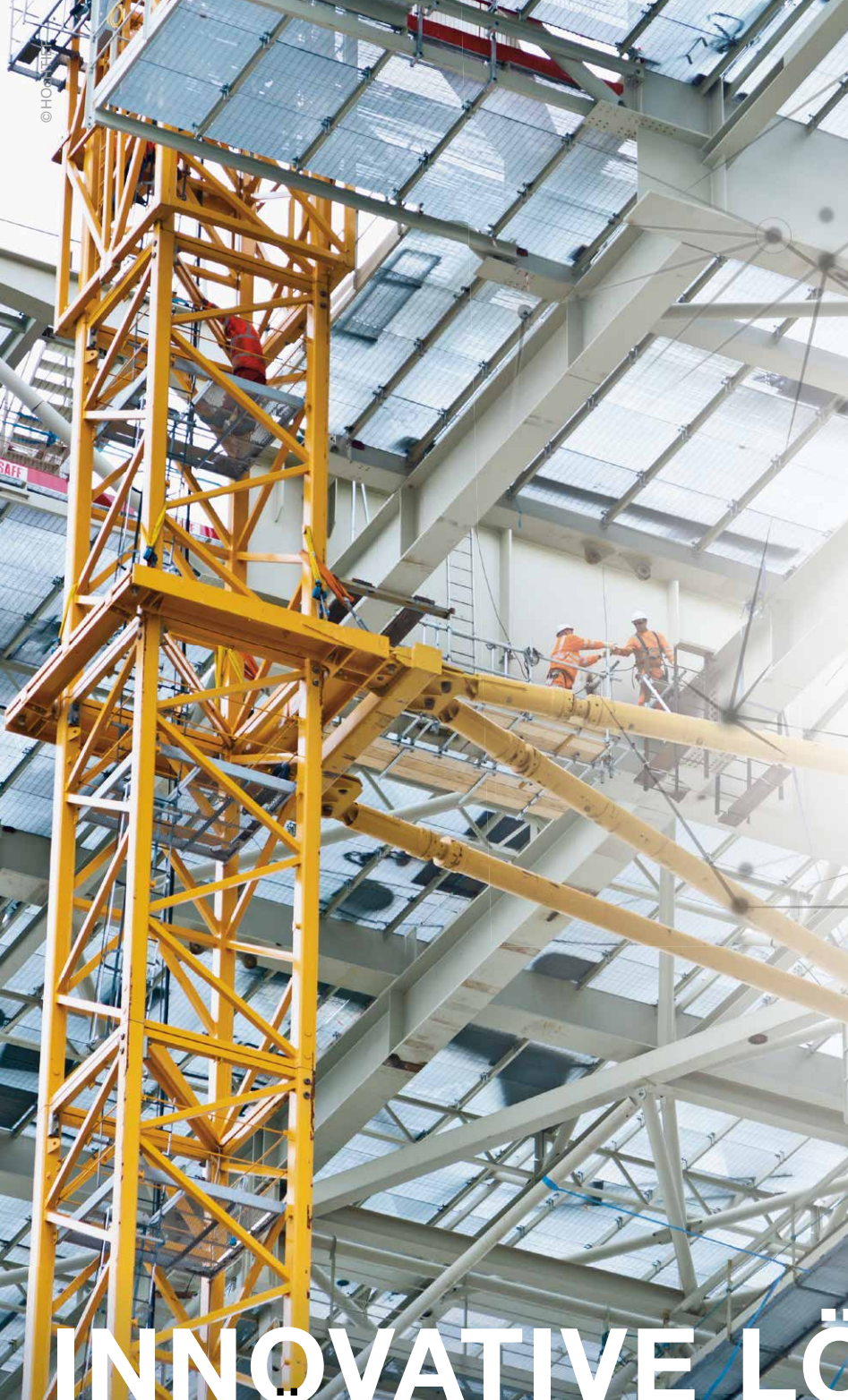
Armin Sdorra (Korrespondenzautor)  
armin.sdorra@hochtief.de  
HOCHTIEF Engineering GmbH, Consult IKS  
Lyoner Straße 25  
60528 Frankfurt am Main

Martin Wunderlich  
martin.wunderlich@hochtief.de  
HOCHTIEF Engineering GmbH, Consult IKS  
Lyoner Straße 25  
60528 Frankfurt am Main

**Zitieren Sie diesen Beitrag**

Dürr, A.; Bartenbach, J.; Kretschmar, P.; Rieche, M.; Sdorra, A.; Wunderlich, M. (2021) *Besonderheiten beim Austausch von Kranbahnträgern für schweren Kranbetrieb*. Stahlbau 90, Sonderheft Kranbahnen, S. 75–91. <https://doi.org/10.1002/stab.202100065>

Dieser Aufsatz wurde in einem Peer-Review-Verfahren begutachtet. Eingereicht: 9. August 2021; angenommen: 11. Oktober 2021.



# INNOVATIVE LÖSUNGEN FÜR GEPLANTEN ERFOLG

Fachkompetente Planung von Kranbahnen und Bewertung von Bestandskranbahnen, das ist unser Metier. Mit unserer Stahlbaukompetenz sorgen wir für zufriedene Kunden. Klassische Tragwerksplanung, Ermüdungsnachweise, Inspektionen, handnahe Begehungen, tiefgehende Untersuchungen, Montagekonzepte für den Kranbahnaustausch oder detaillierte Nachrechnungen und Ertüchtigungskonzepte zur Sicherstellung eines Weiterbetriebes, dafür steht HOCHTIEF Consult IKS.  
[www.hochtief-engineering.de](http://www.hochtief-engineering.de)

Better Project Solutions.

