

# **Beziehungen zwischen Kranbahn und Kransystem**

**Bericht B 8**

**Ausschuß für Hafenumschlagtechnik**

**AHU**

**Hafenbautechnische Gesellschaft e. V.**

**HTG**




## I N H A L T S V E R Z E I C H N I S

	Seite	
1.	Vorbemerkung .	5
2.	Einfluß der Krankonstruktion auf die Belastung der Kranbahn	5
2.1	Das statische System der Tragkonstruktion	6
2.2	Die Elastizität der Tragkonstruktion	7
2.3	Die geometrische Anordnung der Stützen	8
2.4	Die Ausbildung der Fahrwerke	8
2.5	Herstell- und Montagegenauigkeit	9
3.	Konstruktion der Kranbahn	10
3.1	Gründung und Ausführung	10
3.1.1	Tiefgegründete Kranbahn	11
3.1.2	Flachgegründete Kranbahn	11
3.1.2.1	Streifenfundament	12
3.1.2.2	Schweilenrost	12
3.2	Schienenbefestigung	13
4.	Maßabweichungen der Kranbahn und deren Auswirkungen auf Kran und Kranbahn	13
4.1	Abweichungen vom Spurmittenmaß	13
4.1.1	Portale ohne Pendelstütze	13
4.1.2	Portale mit Pendelstütze	14
4.2	Abweichungen der Schienenlage im Grundriß	14
4.3	Längsgefälle der Kranbahn	15
4.4	Quergefälle der Kranbahn	15
4.5	Schränkung der Kranbahn	15
4.6	Verdrehung der Schiene um ihre Längsachse	16
4.7	Lage der Kranbahndanschläge zueinander	16
5.	Zulässige Maßabweichungen (Toleranzen) der Kranbahn	16
5.1	Zulässige Maßabweichungen der Kranbahn nach vorhandenen Regelwerken	16
5.1.1	DIN 4132 - Kranbahnen, Stahltragwerke	17
5.1.2	VDI 3576 - Schienen für Krananlagen	17
5.1.3	FEM Sektion I	18

5.1.4	HTG-Empfehlung für den Bau von Hafenkränen	18
5.1.5	HTG-Empfehlung EAU-Gründung von Kran- bahnen bei Ufereinfassungen, E 120	19
5.2	Montagetoleranzen und Betriebstoleranzen	19
6.	Zusammenfassung	21

## Beziehungen zwischen Kranbahn und Kransystem

### 1. Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht behandelt das Zusammenwirken und die Beziehungen zwischen der Kranbahn und dem Kransystem.

Beide Bauwerke werden meist von verschiedenen Fachleuten geplant und nach technischen Regelwerken konstruiert und ausgeführt. Dabei kann es geschehen, daß Planung und Ausführung der beiden Konstruktionen ohne ausreichende Abstimmung vorgenommen werden. Neben Organisationsmängeln ist dafür häufig die zu geringe Beachtung der physikalischen und technischen Zusammenhänge zwischen Kranbahn und Kransystem verantwortlich. Beispielsweise kann eine Überbewertung der günstigen Anschaffungskosten der Einzelbauwerke zu einer mangelhaften Abstimmung führen. Es wird dabei oft nicht beachtet, daß die richtige Abstimmung der beiden Konstruktionen aufeinander für eine sichere Funktion und für günstige Betriebs- und Unterhaltungskosten der Gesamtkrananlage wichtig ist.

Kräfte, die auf eines der beiden Einzelbauwerke wirken und die an den Systemgrenzen (Kranschiene/Kranfahrwerk) übertragen werden, müssen von dem anderen Einzelbauwerk sicher aufgenommen werden. Entsprechendes gilt für Verformungen bzw. Maßabweichungen. Auch sie dürfen in dem anderen Anlagenteil nicht zu überhöhten Kräften und damit zu kritischen Spannungszuständen führen. Selbst wenn die Sicherheit der Anlage nicht gefährdet wird, können durch eine schlechte Abstimmung beider Anlagenteile Betriebsstörungen und zusätzliche Kosten entstehen. Um diese negativen Folgen zu vermeiden, sind einige Fakten zu beachten, die das Zusammenwirken zwischen Kranbahn und Kransystem bestimmen.

Der vorliegende Bericht zeigt die wichtigsten Einflüsse und Zusammenhänge auf. Er ersetzt jedoch nicht das intensive Studium der anstehenden Problematik und die Beachtung der technischen Regelwerke aller in Frage kommenden Fachgebiete.

### 2. Einfluß der Krankonstruktion auf die Belastung der Kranbahn

Folgende Merkmale der Krankonstruktion beeinflussen die Verteilung der

vertikalen Aufstandskräfte sowie die Größe und Verteilung der horizontalen Kräfte in Schienenrichtung und quer zur Schienenrichtung:

- Das statische System der Tragkonstruktion
- Die Elastizität der Tragkonstruktion
- Die geometrische Anordnung der Stützen
- Die Ausbildung der Fahrwerke
- Die Herstell- und Montagegenauigkeit

## 2.1 Das statische System der Tragkonstruktion

Die Tragkonstruktion kann mit zwei Feststützen oder einer Feststütze und einer Pendelstütze ausgeführt werden.

Bei der Ausführung mit zwei Feststützen müssen beide Schienen Horizontalkräfte quer zur Schiene in die Fundamente ableiten können. Hinsichtlich der Vertikalkräfte liegt eine statisch unbestimmte Stützung vor, wenn das Portal vier Aufstandspunkte besitzt (Bild 1 + 2). Es liegt eine statisch bestimmte Stützung vor, wenn das Portal drei Aufstandspunkte besitzt (Bild 3 + 4).

In den Fällen, in denen aufgrund der Kranbahnkonstruktion und ihrer Gründung die Seitenkräfte aus Wind und Beschleunigung nur von einer Schiene aufgenommen werden sollen, kommt nur eine Tragkonstruktion mit einer Feststütze und einer Pendelstütze (Bild 2-4) zur Anwendung. Weiterhin ermöglicht eine Pendelstütze relativ große Abweichungen im Spurmittmaß der Kranbahn, ohne daß Zwängungen entstehen. Bei den Bauarten mit einer Pendelstütze (Bild 2-4) wird unterschieden, wie viele Freiheitsgrade der Anschluß der Pendelstütze an die übrige Tragkonstruktion besitzt. Der Begriff Pendelstütze wird bereits benutzt, wenn eine der beiden Stützensseiten scharnierartig oder zumindest sehr weich an den Portalträger angeschlossen ist (Bild 2). Mit dieser Konstruktion wird allerdings keine statisch bestimmte Verteilung der vertikalen Stützkräfte erreicht.

Eine statisch bestimmte Verteilung ergibt sich, wenn die Pendelstütze um beide horizontale Achsen drehbar an der übrigen Tragkonstruktion angeschlossen ist (Bild 3 + 4). Dabei entsteht eine andere Aufstandsgeometrie als bei den Portalen nach den Bildern 1 + 2 (Dreieck statt Viereck), weswegen für die Standsicherheit auch andere Kippkanten zu berücksichtigen sind.

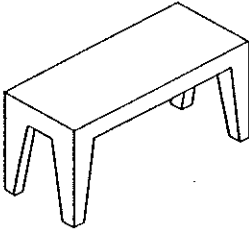


Bild 1: 2 Feststützen  
(Vierpunktstützung)

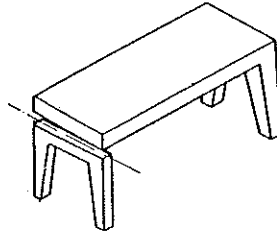


Bild 2: 1 Feststütze und  
1 Pendelstütze  
mit einem Freiheitsgrad  
(Vierpunktstützung)

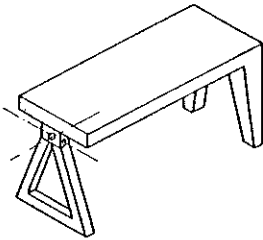


Bild 3: 1 Feststütze und  
1 Pendelstütze  
mit zwei Freiheitsgraden  
(Dreipunktstützung)

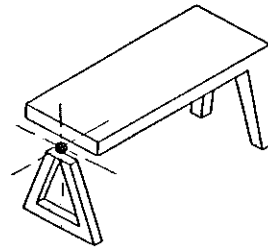


Bild 4: 1 Feststütze und  
1 Pendelstütze  
mit drei Freiheitsgraden  
(Dreipunktstützung)

Bei einer Portalkonstruktion mit Dreipunktlagerung ist es zusätzlich möglich, einen weiteren Freiheitsgrad zu erreichen, indem eine Drehmöglichkeit der Pendelstütze um die vertikale Achse konstruktiv geschaffen wird (Bild 4). Mit dieser Konstruktion können auch Kranbahnen, die im Grundriß von der Sollage abweichen, ohne zusätzliche Beanspruchung des Tragwerkes befahren werden.

Portale über 20 m Spannweite werden üblicherweise mit einer Pendelstütze ausgeführt. Ist es jedoch aus den genannten Gründen erforderlich, werden auch Portale kleinerer Spannweite mit Pendelstützen ausgerüstet.

## 2.2 Die Elastizität der Tragkonstruktion

Die vertikale Elastizität der Kran-Tragkonstruktion hat bei statisch unbestimmter Vierpunktstützung (Bild 1+2) wesentlichen Einfluß auf die Ver-

teilung der vertikalen Stützkkräfte. Durch die Abstützung auf vier Punkten entsteht bei nicht ebener Aufstandsfläche eine Verteilung der Stützkkräfte, die außer von der Lastverteilung auch vom Maß der Unebenheit der Aufstandsfläche (Spurmittenmaß  $\times$  Radstand) sowie von der vertikalen Elastizität der Kran-Tragkonstruktion und der Kranbahn abhängig ist.

Die Verteilung der horizontalen Kräfte quer zur Schiene wird bei Konstruktionen ohne Pendelstütze (Bild 1) und solchen mit einer Pendelstütze ohne Freiheitsgrad um die Vertikalachse (Bild 2 + 3) durch die horizontale Elastizität der Kran-Tragkonstruktion und der Kranbahn beeinflusst.

### 2.3 Die geometrische Anordnung der Stützen

Bei vielen Portalkonstruktionen, insbesondere bei solchen ohne Pendelstützen, können sich die Portalstützen durch die Belastung aus dem Eigengewicht des Kranoberteils und aus der Last mehr oder weniger spreizen. Damit ändert sich bei diesen Portalkonstruktionen das Spurmittenmaß des Fahrwerks. Daraus entstehende Zwängungen zwischen den Spurführungselementen und den Schienen können zu erhöhten Kräften quer zu den Schienen führen. Deswegen werden solche zu erwartenden Spreizungen berechnet und konstruktiv im Spurmittenmaß des Kranes berücksichtigt. Bei Portalen mit Pendelstütze wird diese Zwängung vermieden.

Portalturmkonstruktionen mit vertikalen Stützen und mehreren horizontalen Ebenen erfahren nur eine geringe Spreizung und können daher auch bei Spurweiten bis 30 m ohne Pendelstütze ausgeführt werden, wenn nicht andere Gesichtspunkte eine Pendelstütze verlangen.

### 2.4 Die Ausbildung der Fahrwerke

Die Fahrwerke schienenengebundener Krane übertragen die Kräfte vom Kran auf die Schiene. Abhängig von der Größe dieser Kräfte und von der Tragfähigkeit von Schiene und Gründung werden je Stütze ein Rad oder mehrere in Schwingen gelagerte Räder vorgesehen. Die Dimensionierung der Laufräder erfolgt entsprechend DIN 15 070.

Die Fahrwerke werden durch die Spurkränze der Laufräder geführt. In Sonderfällen, zum Beispiel bei sehr hohen Fahrgeschwindigkeiten, werden für die Spurführung getrennt angeordnete horizontale Führungsrollen und spurkranzlose Laufräder eingesetzt.



Im allgemeinen sind Kranfahrwerke nur für Geradeausfahrt geeignet. Falls in Sonderfällen Kurvenfahrwerke erforderlich sind, erhalten die Schwingen zusätzliche Lager mit senkrechter Achse (Drehschemel, siehe auch 4.2)

Zum Ausgleich begrenzter Spurmittenmaßunterschiede zwischen Kran und Kranbahn ist ein Spurspiel zwischen den Spurführungselementen und der Schiene vorhanden. Ein zusätzlicher Ausgleich kann bei gleitgelagerten Laufrädern durch axiales Spiel der Laufräder in den Lagerbuchsen geschaffen werden. Bei der heute meist üblichen Wälzlagerung der Laufräder entfällt diese Möglichkeit.

Ein zu großes Spurspiel zwischen den Spurführungselementen und den Schienen wirkt sich negativ auf das Fahrverhalten des Kranes aus, weil es eine stärkere Schrägstellung der Fahrwerke zur Schienenachse ermöglicht, wodurch die horizontalen Führungskräfte stark erhöht werden. Daher wird meist nur das unbedingt erforderliche Spurspiel konstruktiv vorgesehen. Wenn aber trotzdem ein Ausgleich für größere Spurmittenmaßabweichungen der Kranbahn vorgesehen werden muß, können die Hauptschwingen einer Kranbahnseite ähnlich einer Pendelstütze an das Portal angeschlossen werden. Diese Konstruktion bewirkt bei Spurerweiterung oder Spurerengung einen relativ großen Sturz der Laufräder und führt damit zu einer erhöhten Pressung zwischen Laufrad und Schiene. Zum Ausgleich von größeren Spurmittenmaßabweichungen der Kranbahn ist eine lange Pendelstütze günstiger, weil dabei ein erheblich geringerer Sturz der Laufräder auftritt.

Schwere Krane mit hohen vertikalen Eckkräften haben nicht selten acht und mehr Laufräder pro Ecke. Die Schwingen dieser Fahrwerke erfordern eine genaue Herstellung der Achsenbohrungen bezüglich ihrer Lage im Aufriß und Grundriß. Durch die große Länge solcher Fahrwerke reagieren diese empfindlich auf Abweichungen der Schiene im Grundriß, und es kommt zu starkem Spurkranzverschleiß an den die Führung des Fahrwerks übernehmenden Laufrädern.

## 2.5 Herstell- und Montagegenauigkeit

Üblicherweise wird vorausgesetzt, daß die Aufstandspunkte des Kranes in einer Ebene liegen und daß das konstruktiv vorgegebene Spurmittenmaß des Kranes genau eingehalten wird. Eine vollständige Kontrolle dieser Voraussetzungen ist kaum möglich. Kontrollmessungen beschränken sich im

allgemeinen auf die Parallelität und Maßhaltigkeit der Fahrwerke.

Die Maßhaltigkeit der Kran-Tragkonstruktion ist vom Fertigungsverlauf sowie von der Herstell- und Montagegüte abhängig. Werden Nennmaße des Kranes nicht genau eingehalten, so können auch bei einer einwandfreien Kranbahn Zwängungen auftreten, die zu Abweichungen von den in der statischen Berechnung ermittelten Kräften führen können. Sinngemäß gilt natürlich dasselbe, wenn die Kranbahn nicht den Sollmaßen entspricht, vgl. dazu Abschnitt 4.

### 3. Konstruktion der Kranbahn

#### 3.1 Gründung und Ausführung

Die Möglichkeiten der Gründung einer Kranbahn im Bereich von Uferbefestigungen sind in den HTG-Empfehlungen des Arbeitsausschusses "Uferbefestigungen" (EAU) unter der Nummer E 120 beschrieben.

Für die Art der Gründung und der Ausführung einer Kranbahn sind die bodenmechanischen Eigenschaften des Untergrundes entscheidend. Es ist außerdem von ausschlaggebender Bedeutung, wie tief unter Geländeoberfläche tragfähiger bzw. setzungsunempfindlicher Boden ansteht.

Bei der Gründung der wasserseitigen Kranbahn muß entschieden werden, ob diese auf der Uferwand befestigt oder unabhängig gegründet werden soll. Im ersteren Fall ist zu untersuchen, ob und inwieweit die Uferwand vertikale und horizontale Auflagerkräfte der Krane in den tragfähigen Untergrund ableiten kann.

Soll eine Kranbahn von schweren Flurförderzeugen und/oder von schweren Straßenfahrzeugen häufig überfahren werden, müssen Kranbahn und Platzbefestigung hinsichtlich ihres voraussichtlichen Setzungsverhaltens aufeinander abgestimmt werden.

Wird die Reparatur einer Kranbahn durch eine vorhandene Platzbefestigung erschwert und/oder beeinträchtigt die Reparatur den Betrieb stark und verursacht dadurch erhebliche wirtschaftliche Nachteile, muß die Kranbahn so gegründet werden, daß Setzungen und Reparaturen weitgehend vermieden werden.

Bei der Wahl der Gründung muß auch berücksichtigt werden, welche Abweichungen der Kranbahn von der Sollage die zur Aufstellung vorgesehe-

nen Krane aufnehmen können.

### 3.1.1 Tiefgegründete Kranbahn

Eine Tiefgründung wird im allgemeinen vorgesehen, wenn der tragfähige Boden erst in größerer Tiefe unter Geländeoberfläche ansteht.

Für tiefgegründete Kranbahnen kommen zwei Ausführungen in Betracht:

- Wenn die Uferwand selbst in tragfähigem Boden gegründet ist und in der Lage ist, die Auflagerkräfte der Krane aufzunehmen, besteht die Möglichkeit, die Kranbahn in die Uferwand zu integrieren.
- Wenn die Uferwand die Auflagerkräfte der Krane nicht aufnehmen kann oder soll, muß die Kranbahnschiene auf einem eigenen, tiefgegründeten Bauwerk befestigt werden.

Setzungen und horizontale Verschiebungen tiefgegründeter Kranbahnen insbesondere infolge der Betriebslasten aus dem Kran sind im allgemeinen gering. Auf derartigen Kranbahnen können deshalb auch relativ starre Kransysteme aufgestellt werden.

Wegen der geringen Setzungen tiefgegründeter Kranbahnen sind Instandhaltungsarbeiten und die damit evtl. verbundene Wegnahme von Straßenbelag und Platzbefestigung selten erforderlich. Deshalb eignen sie sich besonders für Betriebe, bei denen der Flurförder- und Straßenfahrzeugverkehr über die Kranschienen geführt wird. Nachteilig kann sich auswirken, daß die Kranbahn bei Setzungen der Platzbefestigung aus dieser "herauswächst" und zu einem Hindernis für den Fahrverkehr wird.

Hinsichtlich der Reparaturen von Schäden an der Schienenbefestigung bieten tiefgegründete Kranbahnen gegenüber anderen Gründungsarten keinen Vorteil.

### 3.1.2 Flachgegründete Kranbahn

Eine Flachgründung wird in der Regel gewählt, wenn setzungsunempfindlicher Boden in Höhe der Sohle des Kranbahnfundaments ansteht.

Auch bei setzungsempfindlichem Boden wird eine Flachgründung ausgeführt, wenn eine Tiefgründung aus wirtschaftlichen Gründen nicht in Frage kommt.

Für flachgegründete Kranbahnen kommen zwei Ausführungen in Betracht:

- Streifenfundament aus Stahlbeton
- Rost aus Spannbeton-, Holz- oder Stahlschwellen im Schotterbett.

### 3.1.2.1 Streifenfundament

Die Kranschiene wird auf einem Streifenfundament aus Stahlbeton befestigt, wenn setzungsunempfindlicher Boden in geringer Tiefe unter Geländeoberfläche ansteht. Bei dieser Ausführung treten infolge der Betriebslasten aus dem Kran im allgemeinen nur geringe Setzungen und seitliche Verschiebungen der Kranbahn auf.

Lasten im statischen Einflußbereich eines Streifenfundamentes (z.B. Schüttguthalden, Container oder ähnliches) können allerdings Setzungen und seitliche Verschiebungen bewirken, wenn sie nicht bei der Dimensionierung des Streifenfundaments berücksichtigt werden. Das Streifenfundament eignet sich, ebenso wie die Tiefgründung, gut für Betriebe, bei denen Flurförderzeuge die Kranschienen überqueren.

Ein erforderliches Nachrichten der Kranbahn ist allerdings kostenaufwendig und mit längeren betrieblichen Behinderungen verbunden. Deshalb können Instandsetzungsarbeiten nur in größeren Zeitabständen durchgeführt werden. Auf derartigen Kranbahnen müssen daher die aufgestellten Krane größere Abweichungen der Kranbahn von der Sollage aufnehmen können.

### 3.1.2.2 Schwellenrost

Die Kranbahn auf einem Schwellenrost besitzt eine relativ große Elastizität. Dadurch werden Belastungsspitzen der Stützkräfte der Krane in vertikaler und horizontaler Richtung abgebaut.

Die Kranschiene wird auf einem Schwellenrost im Schotterbett verlegt, wenn setzungsunempfindlicher Boden in geringer Tiefe ansteht.

Bei tief anstehendem setzungsunempfindlichen Boden oder bei Auffüllungen mit unterschiedlichen bodenmechanischen Eigenschaften ist sie eine Alternative zur Tiefgründung.

Die Kranbahn auf Schwellenrost im Schotterbett erfordert einen geringen Herstellungsaufwand.

Bei einer auf Schwellenrost verlegten Kranbahn muß allerdings im Gegensatz zu anderen Kranbahngründungen innerhalb kürzester Zeit mit größeren

Aweichungen in Höhen- und Seitenlage sowie Spurmittenmaß gerechnet werden. Das Nachrichten ist jedoch problemlos und mit geringem Kostenaufwand möglich. Ist die auf Schwellenrost verlegte Kranbahn für Flurförderzeuge und Straßenfahrzeuge überfahrbar ausgebildet, so entstehen bei den notwendigen Nachrichtenarbeiten durch das Entfernen und Wiederbringen der Platz- bzw. Fahrbahnbefestigungen zusätzliche Kosten, deren Höhe von der Art der Platz- bzw. Fahrbahnbefestigung abhängt.

### **3.2 Schienenbefestigung**

Die Möglichkeiten der Befestigung von Kranschienen sind in den Empfehlungen des Arbeitsausschusses "Ufereinfassungen" (EAU) der HTG unter den Nummern E 85 und E 108 sowie in der VDI-Richtlinie 3576 ausführlich beschrieben.

## **4. Maßabweichungen der Kranbahn und deren Auswirkungen auf Kran und Kranbahn**

Abweichungen von den Sollmaßen bei der Kranbahn können sich auf die mechanischen Teile und auf die Stahlkonstruktion der Krane sowie auf die Kranbahn und deren Elemente negativ auswirken. Die in den folgenden Abschnitten 4.1 bis 4.6 angegebenen Maßabweichungen und ihre Auswirkungen können sich überlagern.

### **4.1 Abweichungen vom Spurmittenmaß**

#### **4.1.1 Portale ohne Pendelstütze**

Eine Abweichung vom Spurmittenmaß wirkt sich schädlich bei Kranunterbauten oder Portalen aus, die weder eine Pendelstütze noch eine ähnlich wirkende Einrichtung besitzen, wenn die Spurerweiterung oder -verengung über das konstruktiv vorgesehene Spurspiel hinausgeht.

Es entsteht ein erhöhter Verschleiß der Spurführungselemente. Außerdem werden die Triebwerksteile der Fahrwerke, die Stahlkonstruktion des Krans sowie die Kranbahn, insbesondere deren Befestigungselemente, erhöhten Beanspruchungen ausgesetzt. Bei zu großen Zwängungen zwischen Kranfahrwerk und Kranbahn kann die Fahrfunktion des Krans erheblich beeinträchtigt, ungünstigstenfalls sogar aufgehoben werden.

Zur Vermeidung derartiger schädlicher Auswirkungen sind Ausführungen bekannt, bei welchen nur auf einer Kranbahnseite Spurführungselemente verwendet werden. Die Laufräder der gegenüberliegenden Kranseite sind dann mit so breiter Lauffläche ausgeführt, daß Abweichungen vom Spurmittenmaß im Rahmen der Laufflächenbreite aufgenommen werden können. Diese Maßnahme ist allerdings nur bei ausreichend steifen Portalen angebracht.

#### **4.1.2 Portale mit Pendelstütze**

Bei Kranen mit Pendelstütze treten bei Abweichungen vom Spurmittenmaß im Rahmen der Pendelstützenbeweglichkeit keine Zwängungen zwischen Kran und Kranbahn auf.

Die Abweichungen der Kranbahn vom Spurmittenmaß hat eine Winkelabweichung der Pendelstütze von der Vertikalen zur Folge (Laufradsturz). Die Winkelabweichung ist um so größer, je kürzer die Entfernung zwischen dem Gelenk der Pendelstütze und der Schienenoberkante ist. Werden Kran-schienen mit ebenem Schienenkopf in Verbindung mit zylindrischen Laufrädern verwendet, so wird bei der Dimensionierung von Schienenbreite und Laufraddurchmesser von einer Aufstandsfläche zwischen Rad und Schiene ausgegangen, die sich über die gesamte Schienenbreite erstreckt. Ein Sturz des Laufrades führt zu einer erheblich kleineren Aufstandsfläche und damit zu einer sehr hohen Pressung, wodurch Schäden an Schiene und Rad entstehen können.

Bei Schienen mit bailligem Kopf entfällt dieses Problem.

#### **4.2 Abweichungen der Schienenlage im Grundriß**

Zunächst gelten hierfür die Ausführungen des Abschnitts 4.1.

Durch das Anfahren der Spurführungselemente gegen die Schiene müssen zwischen Laufrädern und Schienen horizontale Kräfte übertragen werden, die alle betroffenen Bauteile zusätzlich beanspruchen. Bei einer Pendelstütze nach Bild 2 oder 3 bewirken diese quer zur Schiene gerichteten Horizontalkräfte eine Torsionsbeanspruchung der Stützenscheibe und bringen damit zusätzliche Horizontalkräfte in die Pendelstützengelenke. Eine Pendelstütze nach Bild 4 wird nicht zusätzlich beansprucht, weil das Gelenk keine Momente überträgt.

Unabhängig vom statischen System nach den Bildern 1 bis 4 des Kran-

Tragwerkes können Zwangskräfte zwischen den Spurführungselementen einer Fahrwerksseite und der Schiene auftreten, wenn die Abweichungen der Schienenlage innerhalb der Fahrwerkslänge größer sind als das Spurspiel des Fahrwerks. Dies kann besonders bei langen Fahrwerken mit vielen Rädern der Fall sein. Die Zwangskräfte müssen einerseits von den Spurführungselementen und den Fahrwerkanschlüssen, andererseits von den Schienenbefestigungen aufgenommen werden. Bei sehr großen Fahrwerkslängen können daher Drehschmel erforderlich sein (siehe auch 2.4).

#### 4.3 Längsgefälle der Kranbahn

Sofern das Längsgefälle in beiden Schienen der Kranbahn gleich ist, wirkt es sich lediglich in einer zusätzlichen Belastung der Fahrwerksantriebe sowie ggf. in den Drehwerksantrieben aus. Auch muß evtl. bei verschmutzter Schiene ein Rutschen der Antriebsräder in Betracht gezogen werden. Bei Gefällewechsel, wodurch Kuppen oder Wannen im Kranbahnverlauf entstehen, besteht die Gefahr, daß Radbruchstützen, Windsicherungen oder Schienenräumer auf die Schienen auflaufen.

#### 4.4 Quergefälle der Kranbahn

Durch ein Quergefälle der Kranbahn kommt es zum ständigen Anlauf der Spurführungselemente.

Weiterhin wirkt sich ein Quergefälle bei Drehkränen in einer zusätzlichen Beanspruchung der Drehantriebe aus, bei Kranen mit Laufkatzen wird der Katzfahrantrieb zusätzlich belastet.

#### 4.5 Schränkung der Kranbahn

(Unterschiedliche Längsneigung der Schienen zueinander).

Bei torsionssteifen Portalen mit kleinem Spurmittenmaß und Vierpunkt-Abstützung führt eine Schränkung der Kranbahn zu zusätzlichen vertikalen Belastungen von zwei diagonal gegenüberliegenden Ecken des Stützsystems. Dies kann zu einer Überbeanspruchung der mechanischen Teile des Fahrwerkes führen. Die angetriebenen (gebremsten) Räder unter den anderen, entlasteten Ecken können durchdrehen (blockieren), wodurch erhöhter Verschleiß an Rad und Schiene entsteht. Die höhere Belastung einer Stützecke mit gleichzeitiger Entlastung einer anderen führt weiterhin zu Verformungen und u.U. zu Spannungsüberschreitungen im Tragwerk des Krans.

Falls sich derartige Verformungen auf die Auflagerflächen einer Drehverbindung und auf diese selbst übertragen, ist bei Wälzlager ringen die Möglichkeit von Schäden an den oberflächengehärteten Wälzbahnen gegeben.

Für ein Tragwerk mit einer Dreipunktstützung ist eine Schränkung der Kranbahn unschädlich.

#### **4.6 Verdrehung der Schiene um ihre Längsachse**

(Abweichung des Schienenkopfes von der Scheitelhorizontalen)

Eine Verdrehung der Schiene um ihre Längsachse hat dieselben Auswirkungen wie die Winkelstellung einer Stütze, vgl. Punkt 4.1.2 und 2.4.

#### **4.7 Lage der Kranbahndanschlüsse zueinander**

Bei Maßabweichungen der Lage der Endanschläge bzw. Puffer in Kranbahnlängsrichtung wird die kinetische Energie aus den bewegten Massen zunächst auf einer Kranbahnseite aufgenommen, bevor die Endbegrenzung der anderen Kranbahnseite an der Energieaufnahme teilnimmt. Dieses führt zu erhöhten Pufferkräften auf einer Kranbahnseite und damit zu erhöhten Spannungen in den Kranbahndanschlüssen, in deren Befestigung und in den Kranportalen.

### **5. Zulässige Maßabweichungen (Toleranzen) der Kranbahn**

Für den Bau von Kranbahnen gibt es mehrere Regelwerke, die sich neben anderen Themen auch mit zulässigen Maßabweichungen befassen. Zulässige Maßabweichungen bei der Herstellung (Montagetoleranzen) müssen von Maßabweichungen unterschieden werden, die sich im Laufe des Betriebes einer Krananlage einstellen und die noch zugelassen werden können. (Betriebstoleranzen). Eine Durchsicht vorhandener Regelwerke zeigt, daß Zahlenangaben meist nur für die Montagetoleranzen zu finden sind. Im folgenden werden die in den Regelwerken veröffentlichten Angaben dargestellt und miteinander verglichen. Anschließend sind die für Hafenkrane sinnvollen Montage- und Betriebstoleranzen zusammengestellt.

#### **5.1 Zulässige Maßabweichungen der Kranbahn nach vorhandenen Regelwerken**

Nach einer kurzen Darstellung der infragekommenden Regelwerke werden



deren Zahlenangaben in Tabelle 1 vergleichend gegenübergestellt.

#### **5.1.1 DIN 4132 - Kranbahnen, Stahltragwerke, 2/1981**

Diese Norm gilt für Stahltragwerke von Kranbahnen aller Art. In Abschnitt 5.7 werden für die Kranbahnen von Brückenkranen die Toleranzen für folgende Größen angegeben:

- Spurmittenmaß;
- Lage einer Schiene im Grundriß;
- Höhenlage einer Schiene (Längsgefälle);
- Lage der Endanschlüge zueinander.

Die Vermessung der Kranbahn soll unmittelbar nach Fertigstellung und nur mit ständiger Last erfolgen. Abweichende Bedingungen sind vom Bauherren anzugeben.

#### **5.1.2 VDI 3576 - Schienen für Krananlagen, 1989**

- Schienenverbindungen;
- Schienenbefestigungen;
- Toleranzen.

Die VDI-Richtlinie enthält das Verlegen von Schienen auf Stahlträgern, Betonträgern und auf Schwellen. Sie gilt für Kran- und Katzfahrbahnen.

Für folgende Größen werden Toleranzen angegeben:

- Spurmittenmaß;
- Lage einer Schiene im Grundriß;
- Höhenlage einer Schiene im Grundriß;
- Höhenlage der Schiene (Längsgefälle);
- Höhenlage der Schienen zueinander (Quergefälle);
- Neigung der Schienen zueinander (Schränkung);
- Abweichung des Schienenkopfes aus der Scheitelhorizontalen;
- Lage der Endanschlüge zueinander.

Bei den angegebenen Toleranzen handelt es sich um Montagetoleranzen für die Erstausrüstung. Außerdem wird darauf hingewiesen, daß Nachbesserungen erforderlich werden, wenn konstruktive und betriebliche Gegebenheiten dies erfordern.

Im Text und in den Anmerkungen wird auf die Wechselwirkung zwischen Kran und Kranbahn, den Einfluß einer Pendelstütze und den Einfluß der Elastizität der Kranbahn verwiesen.

Hafenkrane werden in dieser Richtlinie der Toleranzklasse 3 zugeordnet.

### **5.1.3 FEM Sektion I**

Berechnungsgrundlagen für Krane 3. Ausgabe 1.10.1987 hier speziell Heft 8 Prüflasten und Toleranzen.

Die FEM-Grundlagen haben allgemein Gültigkeit für Brücken-, Portal- und Dehkrananlagen.

Für die folgenden Größen werden Toleranzen angegeben:

- Spurmittenmaß;
- Lage einer Schiene im Grundriß;
- Höhenlage einer Schiene (Längsgefälle);
- Höhenlage der Schienen zueinander (Quergefälle);
- Abweichung des Schienenkopfes aus der Scheitelhorizontalen.

Bei den angegebenen Werten handelt es sich um Montagetoleranzen. FEM schreibt vor, daß die Kranbahn spätestens bei Überschreiten der Toleranzen um mehr als 20 % nachgerichtet werden muß. Im Text ist die Wechselwirkung zwischen Kran und Kranbahn zu erkennen.

Die FEM Toleranzen entsprechend etwa den Werten der VDI 3576 (Toleranzklasse 2) sowie denen der DIN 4132.

### **5.1.4 HTG-Empfehlung EAU-Gründung von Kranbahnen bei Ufereinfassungen, E 120, Ausgabe 1980**

Für die folgenden Größen werden Toleranzen angegeben:

- Höhenlage einer Schiene (Längsgefälle);
- Höhenlage der Schienen zueinander (Quergefälle).

Die angegebenen Zahlenwerte nennen Betriebstoleranzen. Im Zusammenhang mit den Toleranzen wird auch auf das Kransystem hingewiesen.

### **5.2 Montage- und Betriebstoleranzen**

Die Toleranzen der in Tabelle 1 dargestellten Regelwerke sind im Hafenbetrieb oft nicht einhaltbar. Das liegt im wesentlichen daran, daß in Häfen oft setzungsempfindliche Böden anstehen, die zu größeren nachträglichen Maßabweichungen führen können, wenn nicht aufwendige Baumaßnahmen dies verhindern. Daher muß besonders in Häfen zwischen Montage- und Betriebstoleranzen unterschieden werden.

Beim Bau einer Kranbahn müssen die Abweichungen von den Sollmaßen innerhalb der Montagetoleranzen liegen, die relativ eng gefaßt werden können. Die Einhaltung dieser Toleranzen wird im allgemeinen ohne Belastung durch Krane überprüft.

Durch die Belastung der Kranbahn treten im Laufe des Kranbetriebes je nach Bodenverhältnissen und Konstruktion der Kranbahn zusätzliche Abweichungen von den Sollmaßen auf. Deswegen müssen Betriebstoleranzen definiert werden, die zwangsläufig größer als die Montagetoleranzen sind.

Die Größe der Betriebstoleranzen hängt im wesentlichen davon ab, welche Abweichungen der Kranbahn von den Sollmaßen die Krane ohne Schaden ertragen können. Folglich ist eine Festlegung von Betriebstoleranzen für den wirtschaftlichen Betrieb von Hafenkrananlagen ebenso wichtig, wie die Angabe von Montagetoleranzen.

Die HTG-Empfehlung EAU - E 120 gibt einige Betriebstoleranzen für eine gut unterhaltene Kranbahn an. Diese Angaben sind allerdings, ebenso wie die Richtwerte der FEM, für die Praxis nicht ausreichend. Zum Beispiel genügen sie nicht für den Betreiber einer Krananlage, wenn er entscheiden soll, ob eine Kranbahn, deren Lage sich im Laufe des Betriebs verändert hat, nachgerichtet werden muß oder nicht.

In der Tabelle 2 sind die für Hafenkraner sinnvollen Montage- und Betriebstoleranzen zusammengestellt. Letztere sind in Abhängigkeit von den unterschiedlichen Systemen der Krantragwerke gemäß den Bildern 1-4 aufgelistet. Die Werte basieren auf Erfahrungen von Kranherstellern und Kranbetreibern sowie auf Messungen an vorhandenen Anlagen in See- und Binnenhäfen.

Als Betriebstoleranzen für Kranbahnen, auf denen Portalkrane eingesetzt sind, können relativ große Werte zugelassen werden, da die Tragwerke dieser Krane elastische Konstruktionen sind. Nur im Fall der zulässigen Maßabweichungen des Schienenkopfes aus der Scheitelhorizontalen (Zeile 6 der Tabelle 2), wird als Betriebstoleranz ein kleinerer Wert als nach VDI 3576 (Montagetoleranz, Tabelle 1) vorgeschlagen, um die Pressung in der Radaufstandszone, die stark verschleißfördernd wirkt, zu begrenzen.

Bei der Anwendung der Tabelle 2 ist darauf zu achten, daß zunächst jede einzelne der angegebenen Prüfbedingungen (entsprechende Zeile in

Tabelle 2) von der zu untersuchenden Kranbahn erfüllt werden muß. Welche Spalte der Tabelle zu benutzen ist, wird von demjenigen Kran auf der Kranbahn festgelegt, dessen Portaltragwerk die wenigsten Freiheitsgrade aufweist. Verkehren einzelne Krane einer Krananlage jeweils nur auf bestimmten Kranbahnabschnitten, so können für die einzelnen Kranbahnabschnitte, je nach Bauart der dort eingesetzten Krane, unterschiedliche Spalten der Tabelle 2 gelten.

Die Werte für die Betriebstoleranzen nach Tabelle 2 sind nicht als Grenzwerte im Sinne der statischen Sicherheit oder der Werkstoffbeanspruchung des Krans oder der Kranbahn ermittelt worden. Sie müssen daher nicht in jedem Fall als absolute Grenze verstanden werden. Vielmehr sollen die darin angegebenen Werte dem Betreiber einer Krananlage einen Hinweis geben, wann die geometrischen Abweichungen einer Kranbahn aus der Sollage unter technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten ein kritisches Maß erreichen. In begründeten Fällen kann von diesen Werten abgewichen werden.

Zur vollständigen Beurteilung einer Kranbahn gehören weitere Gesichtspunkte, die durch die schematische Zuordnung der Betriebstoleranzen zu den Krantragwerken in Tabelle 2 nicht alle erfaßt werden können. So gehört zu der Beurteilung auch eine Analyse und Bewertung des jeweiligen Kranbetriebes.

## 6 Zusammenfassung

In der Praxis stellt sich meist die Frage, welche Kran-Tragwerkssysteme und welche Kranbahnkonstruktionen zueinander passen. Dies gilt sowohl für den gleichzeitigen Neubau von Kran und Kranbahn als auch für die Fälle, in denen auf bereits vorhandenen Kranbahnen neue Krane aufgestellt werden bzw. in denen für vorhandene Krane neue Kranbahnen gebaut werden.

In den Abschnitten 1-5 wird das Zusammenwirken von Kran und Kranbahn im einzelnen erörtert. Daraus wird zusammenfassend eine schematische Übersicht (Tabelle 3) abgeleitet, aus der eine sinnvolle Zuordnung der verschiedenen Kran-Tragwerkssysteme zu den Kranbahnkonstruktionen hervorgeht.

Die Tabelle 3 ermöglicht einen schnellen Überblick, jedoch können in dieser Zusammenfassung nicht alle Gesichtspunkte erfaßt werden, die im konkreten Einzelfall die Entscheidung beeinflussen. Beim Aufbau der Tabelle 3 wurde davon ausgegangen, daß die Entscheidung für eine bestimmte Kranbahnkonstruktion feststeht und dieser ein Kran-Tragwerkssystem zuzuordnen ist. Bei der Beurteilung wurde vor allem die technische Eignung der vier Kran-Tragwerkssysteme für den Einsatz auf den sechs Kranbahnkonstruktionen berücksichtigt. Eine eindeutige Aussage hinsichtlich der günstigsten Kombination aus Kran-Tragwerkssystem und Kranbahnkonstruktion kann in der Tabelle nicht für alle Fälle gegeben werden, da neben den technischen auch zahlreiche wirtschaftliche Gesichtspunkte zu beachten sind. Bei der Zusammenstellung und Prüfung aller dieser Gesichtspunkte sollten im konkreten Fall die Fachleute des Kranbahnbaus und die des Kranbaus eng zusammenarbeiten.

Im Falle des Neubaus einer Kranbahn hängt es weitgehend von den örtlichen Untergrundverhältnissen ab, welche Konstruktion gewählt werden kann.

Auf einer Kranbahnkonstruktion, die im späteren Betrieb eine gute Lastgestabilität, d.h. die Einhaltung relativ eng festgelegter Toleranzen, gewährleistet, können Krane mit Tragwerkssystemen nach Bild 1 oder 2 eingesetzt werden. Der Instandhaltungsaufwand für Kran und Kranbahn ist dann im allgemeinen gering.

Auf einer Kranbahnkonstruktion, bei der im späteren Betrieb mit größeren Abweichungen von der Sollage gerechnet werden muß, sollten Krane mit solchen Tragwerkssystemen aufgestellt werden, die relativ große Maßabweichungen aufnehmen können. Anderenfalls sind häufige Unterhaltungsarbeiten an der Kranbahn und an den Fahrwerken der Krane erforderlich. Die Fähigkeit eines Tragwerkes, große Maßabweichungen der Kranbahn aufnehmen zu können, kann entweder durch Anordnung entsprechender Gelenke (Tragwerkssysteme nach Bild 3 oder 4) oder durch eine entsprechend elastisch gestaltete Stahlbaukonstruktion (Tragwerkssysteme nach Bild 1 oder 2) erreicht werden.

In den Fällen, wo auf bereits vorhandenen Kranbahnen neue Krane aufgestellt werden sollen, muß eine genaue Analyse des Zustandes der Kranbahn durchgeführt und geprüft werden, ob die Kranbahn die neuen Belastungen aufnehmen kann. Wenn Krane häufig fahren, müssen das Kran-

tragwerk und die Kranbahnkonstruktion gut aufeinander abgestimmt sein, weil nur so ein erhöhter Verschleiß der Schienen und Fahrwerke vermieden werden kann.

Werden Kran-Tragwerksysteme mit Dreipunktstützung (Bild 3 und 4) eingesetzt, lassen sich aufgrund der eindeutigen Lastverteilung genaue Angaben hinsichtlich der Belastung ermitteln, ohne daß Annahmen über die Größe der Maßabweichungen der Kranbahn im Betrieb getroffen werden müssen, wie es bei vierpunktgestützten Tragwerksystemen (Bild 1 und 2) erforderlich ist.

Grundsätzlich gilt, daß der Aufwand zum Bau der Kran-Tragwerksysteme nach Bild 1 und 2 geringer ist als zum Bau der Systeme nach Bild 3 und 4. Zwischen den Systemen 1 und 2 bzw. 3 und 4 ist der Unterschied im Bauaufwand relativ gering.

Herausgegeben im Dezember 1985

Neuaufgabe Juni 1989

Tabelle 1: Zul. Maßabweichungen (Toleranzen) für Kranbahnen nach vorh. Regelwerken

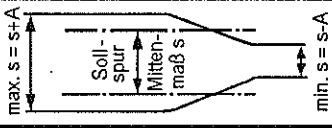
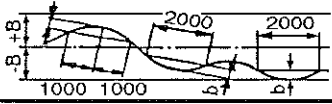
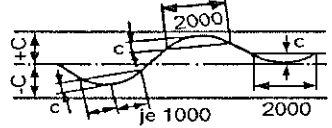
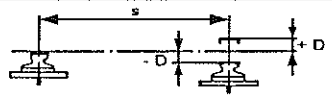
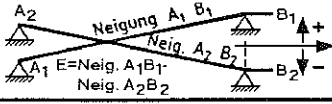

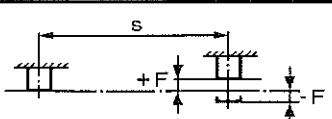
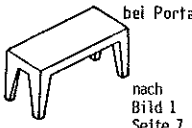
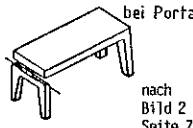
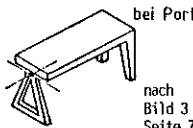
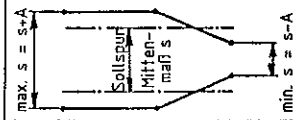
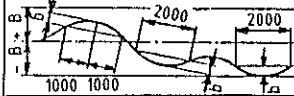
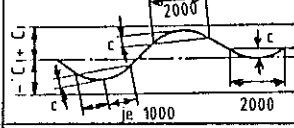
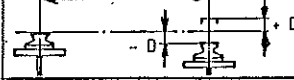
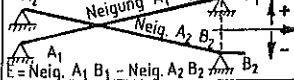
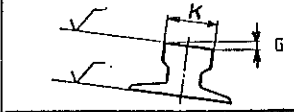
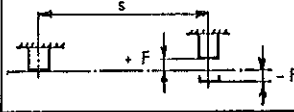
Regelwerke	DIN 4132	VDI 3576			FEM	HTG-Empf. Ufereinfass.	
		Ausg. 2/1981	Ausg. 1989				Sektion I Ausg. 10/1987
Bezeichnung	Bildliche Darstellung		Toleranzklasse 1 für Krane d. Beanspruchungsgruppe B4 - B6 nach DIN 15018	Toleranzklasse 2 für Krane d. Beanspruchungsgruppe B1 - B3 nach DIN 15018	Toleranzklasse 3 für Krane mit wenig Fahrbewegungen u. kurzen Fahrstrecken z.B. Hafenkranne		
1 Spurmittenmaß "s"		für $s \leq 15$ m gilt: $A = \pm 5$ mm für $s > 15$ m gilt: $A = \pm [5 + 0,25 \times (s - 15)]$ mm s in m einsetzen	für $s \leq 15$ m gilt: $A = \pm 5$ mm für $s > 15$ m gilt: $A = \pm [3 + 0,25 \times (s - 15)]$ mm s in m einsetzen	für $s \leq 15$ m gilt: $A = \pm 5$ mm für $s > 15$ m gilt: $A = \pm [5 + 0,25 \times (s - 15)]$ mm s in m einsetzen	für $s \leq 15$ m gilt: $A = \pm 5$ mm für $s > 15$ m gilt: $A = \pm [10 + 0,25 \times (s - 15)]$ mm s in m einsetzen	für $s \leq 15$ m gilt: $A = \pm 3$ mm für $s > 15$ m gilt: $A = \pm [3 + 0,25 \times (s - 15)]$ mm max. $\pm 25$ mm	
2 Lage einer Schiene im Grundriß		$B = \pm 10$ mm $b = 1$ mm	$B = \pm 5$ mm $b = 1$ mm	$B = \pm 10$ mm $b = 1$ mm	$B = \pm 20$ mm $b = 1$ mm	$B = \pm 10$ mm $b = 1$ mm	
3 Höhenlage einer Schiene (Längsgefälle)		$C = \pm 10$ mm $c = 2$ mm	$C = \pm 5$ mm $c = 1$ mm	$C = \pm 10$ mm $c = 2$ mm	$C = \pm 20$ mm $c = 4$ mm	$C = \pm 10$ mm $c = 2$ mm	max. 3 %
4 Höhenlage der Schienen zueinander (Quergefälle)			$D = \pm 0,5 \%$ von s $D_{max.} = \pm 5$ mm	$D = \pm 1 \%$ von s $D_{max.} = \pm 10$ mm	$D = \pm 2 \%$ von s $D_{max.} = \pm 20$ mm	$D_{max.} = \pm 10$ mm	$D = \text{ca. } 3 \%$ von s
5 Neigung der Schienen zueinander (Schrägung)			$E = \pm 0,5 \%$	$E = \pm 1 \%$	$E = \pm 2 \%$		
6 Abweichung des Schienenkopfes aus der Scheitelhorizontalen			$G \leq 4 \%$ von K	$G \leq 6 \%$ von K	$G \leq 8 \%$ von K		
7 Lage der Endanschläge zueinander		$F = 1 \%$ von s $F_{max.} = \pm 20$ mm	$F = \pm 0,7 \%$ von s $F_{max.} = \pm 15$ mm	$F = \pm 1 \%$ von s $F_{max.} = \pm 20$ mm	$F = \pm 1,5 \%$ von s $F_{max.} = \pm 30$ mm		
Anmerkungen:	vorgesehener Anwendungsbereich	Kranbahnen in Stahlkonstruktion	Kranbahnen in Stahl-, Beton- oder Schwellenbauweise			Kranbahnen für Laufkran-, Portal- und Drehkrananlagen	Kranbahnen für Hafenkranne
	Toleranzen	Montagetoleranzen	Montagetoleranzen (für die unbelastete Kranbahn) Nachbesserung, wenn konstruktiv u. betrieblich erforderlich			Montagetoleranzen Betriebstoleranzen max. 20 % über den Montagetoleranzen	Betriebstoleranzen
	Kranbahnvermessung	Nach Montageende, nur mit ständiger Last (aus Eigengewicht der Kranbahn)	keine Angabe			keine Angabe	keine Angabe

Tabelle 2: Montage- und Betriebstoleranzen der Kranbahn / Anhaltswerte

Anwendungsbereich		Montage- (Ausricht-) Toleranzen 1)	Betriebstoleranzen				Bemerkungen
			bei allen Portalstrukturen	bei Portal  nach Bild 1 Seite 7	bei Portal  nach Bild 2 Seite 7	bei Portal  nach Bild 3 Seite 7	
1	Spurmittenmaß "s" 	$s \leq 10 \text{ m:}$ $A = \pm 10 \text{ mm}$ $s > 10 \text{ m:}$ $A = \pm [10+0,25 \cdot (s-10)] \text{ mm}$	$s \leq 10 \text{ m:}$ $A = \pm 20 \text{ mm}$ $s > 10 \text{ m:}$ $A = \pm [20+0,25 \cdot (s-10)] \text{ mm}$	$s \leq 10 \text{ m:}$ $A = \pm 30 \text{ mm}$ $s > 10 \text{ m:}$ $A = \pm [30+0,25 \cdot (s-10)] \text{ mm}$	$s \leq 10 \text{ m:}$ $A = \pm 30 \text{ mm}$ $s > 10 \text{ m:}$ $A = \pm [30+0,25 \cdot (s-10)] \text{ mm}$	$s \leq 10 \text{ m:}$ $A = \pm 30 \text{ mm}$ $s > 10 \text{ m:}$ $A = \pm [30+0,25 \cdot (s-10)] \text{ mm}$	Schiefstellung der Pendelstütze zur Senkrechten max. 6% (gilt für alle Spurweiten, entfällt jedoch bei balligen Schienenköpfen 2)
2	Lage einer Schiene im Grundriß 	$B = \pm 10 \text{ mm}$ $b = \pm 2 \text{ mm}$ $\Delta \pm 1 \text{ ‰}$	Maßgebend für B sind die entsprechenden Werte A der Zeile 1 b wird begrenzt durch das Verhältnis von Spurspiel / Fahrwerkslänge einer Fahrwerksseite				
3	Höhenlage einer Schiene (Längsgefälle) 	$C = \pm 10 \text{ mm}$ $c = \pm 2 \text{ mm}$ $\Delta \pm 1 \text{ ‰}$	$C = \pm 30 \text{ mm}$ $c = \pm 4 \text{ mm}$ $\Delta \pm 2 \text{ ‰}$	$C = \pm 30 \text{ mm}$ $c = \pm 4 \text{ mm}$ $\Delta \pm 2 \text{ ‰}$	$C = \pm 40 \text{ mm}$ $c = \pm 8 \text{ mm}$ $\Delta \pm 4 \text{ ‰}$	$C = \pm 40 \text{ mm}$ $c = \pm 8 \text{ mm}$ $\Delta \pm 4 \text{ ‰}$	Schienenneigung
4	Höhenlage der Schienen zueinander (Quergefälle) 	$s \leq 10 \text{ m:}$ $D = \pm 10 \text{ mm}$ $s > 10 \text{ m:}$ $D = \pm 20 \text{ mm}$	$D = \pm 6 \text{ ‰ von } s$	$D = \pm 6 \text{ ‰ von } s$	$D = \pm 6 \text{ ‰ von } s$	$D = \pm 6 \text{ ‰ von } s$	Bei konstruktiv vorgesehnen Höhendifferenzen ist D die Abweichung vom Sollmaß
5	Neigung der Schienen zueinander (Schränkung) 	$E = 2 \text{ ‰}$	$E = 3 \text{ ‰}$	$E = 3 \text{ ‰}$	$E = 6 \text{ ‰}$	$E = 6 \text{ ‰}$	
6	Abweichung des Schienenkopfes aus der Scheitelhorizontalen 	$G \leq \pm 6 \text{ ‰ von } K$	$G \leq \pm 6 \text{ ‰ von } K$	$G \leq \pm 6 \text{ ‰ von } K$	$G \leq \pm 6 \text{ ‰ von } K$	$G \leq \pm 6 \text{ ‰ von } K$	Entfällt bei balligen Schienenköpfen 2)
7	Lage der Endanschläge zueinander 	$F = \pm 1 \text{ ‰ von } s$	$F = \pm 1,5 \text{ ‰ von } s$	$F = \pm 1,5 \text{ ‰ von } s$	$F = \pm 1,5 \text{ ‰ von } s$	$F = \pm 1,5 \text{ ‰ von } s$	

Anmerkung:

Alle Toleranzen sind unabhängig voneinander zu überprüfen!

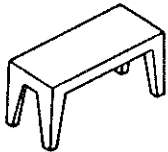
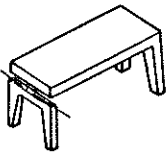
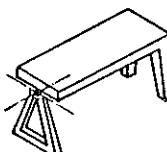
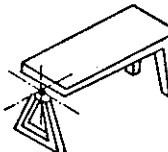
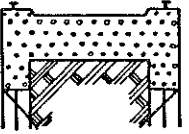
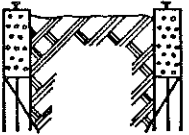
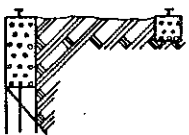
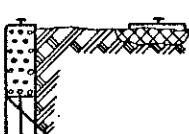
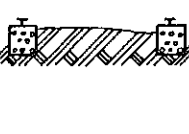
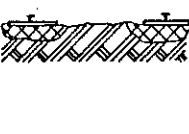
1) Gemessen nur mit ständiger Last (aus Eigengewicht der Kranbahn)

2) Die Schiefstellung der Pendelstütze zur Senkrechten in Kombination mit der Abweichung des Schienenkopfes aus der Scheitelhorizontalen sollte an keiner Stelle 10 ‰ überschreiten.



Tabelle 3

## Zuordnung von Kran-Tragwerksystemen / Kranbahnkonstruktionen

Kranbahnkonstruktionen			Kran-Tragwerksysteme			
Nr.	Symbol	Bemerkungen	 nach Bild 1 Seite 7	 nach Bild 2 Seite 7	 nach Bild 3 Seite 7	 nach Bild 4 Seite 7
1		Verbundfundament auf einer Tiefgründung Nur bei kleinen Spurweiten anwendbar Hoher Bauaufwand erforderlich	Geeignet	Geeignet	Geeignet, jedoch unnötig hoher Aufwand beim Bau des Kran-Tragwerks	Geeignet, jedoch unnötig hoher Aufwand beim Bau des Kran-Tragwerks
2		Getrennte Fundamente auf Tiefgründung Bei allen Spurweiten anwendbar	Geeignet, jedoch nur bei kleinen Spurweiten	Geeignet	Geeignet, jedoch unnötig hoher Aufwand beim Bau des Kran-Tragwerks	Geeignet, jedoch unnötig hoher Aufwand beim Bau des Kran-Tragwerks
3		Ein Fundament mit Tiefgründung und ein Streifenfundament Bei allen Spurweiten anwendbar	Nicht empfehlenswert	Weniger empfehlenswert, da aufwendige Reparatur der Kranbahn, falls Lageabweichung zu groß	Geeignet	Geeignet
4		Ein Fundament mit Tiefgründung und ein Schotterbett mit Schwellen Bei allen Spurweiten anwendbar	Hoher Unterhaltungsaufwand der Kranbahn erforderlich	Hoher Unterhaltungsaufwand der Kranbahn erforderlich	Geeignet	Geeignet
5		Zwei getrennte Streifenfundamente Bei allen Spurweiten anwendbar Meist auf Lagerplätzen mit großen Spurweiten ausgeführt	Nicht geeignet	Nur für Tragwerke mit großer Spurweite Großer Reparaturaufwand an Kranbahn, falls Lageabweichung zu groß	Geeignet	Geeignet
6		Zwei getrennte Fundamente mit Schwellenrost Bei allen Spurweiten anwendbar Meist auf Lagerplätzen mit großen Spurweiten ausgeführt	Nicht geeignet	Nur für Tragwerke mit großer Spurweite Hoher Unterhaltungsaufwand der Kranbahn erforderlich	Geeignet	Geeignet