

## UNTERSUCHUNG VON KRANEN

# Wie lässt sich das Fahrverhalten bewerten?

Zur Verbesserung des Fahrverhaltens von Kranen ist die Kenntnis aller erfassbaren Einflussgrößen als Gesamtheit notwendig. In umfangreichen Messreihen wurde diese Problematik von der IFF E&C GmbH in Leipzig untersucht. Das Ergebnis sind eine Kranlaufzahl, die ein Maß für das Fahrverhalten darstellt, sowie ein PC-Berechnungsprogramm, mit dem eine günstige Sanierungsvariante für einen schlecht laufenden Kran gefunden werden kann.

- Dipl.-Math. Lutz Bunzel
- Dr.-Ing. Christian Grüger
- Dr.-Ing. habil. Werner Warkenthin

## Gesamtheitliche Betrachtung ist notwendig

Die Probleme des schlecht laufenden Kranes sind meist bekannt – u. a. hoher Lauf- radverschleiß, abnormale Abnutzung der Schiene, ungleichmäßiges Fahren oder Verklemmen der gesamten Kranbrücke. In erweiterter Fassung des Begriffs können gleisgebundene Krane, speziell Brückenkrane, als Gleisfahrzeuge mit Eigenantrieb durch das Kranfahrwerk bezeichnet und behandelt werden. Von den klassischen Gleisfahrzeugen, z. B. Eisenbahnwagen, unterscheiden sie allerdings nahezu alle technischen Parameter. Ein Kran weist beträchtlich höhere Raddruckkräfte, andere Berührungsverhältnisse in der Aufstandsfläche der Räder, dafür aber eine wesentlich niedrigere Fahrgeschwindigkeit gegenüber üblicher Eisenbahntechnik auf. Der wichtigste, das Fahrverhalten entscheidend beeinflussende Unterschied betrifft jedoch das Führungsverhältnis, den Quotienten aus Spurweite und Radstand. Es variiert beim Brückenkran zwischen 2 und 7 und liegt damit um mehr als eine Zehnerpotenz über dem Wert von Eisenbahnfahrzeugen. Wenn der Brückenkran als Gleisfahrzeug benannt wird, ist er vom Prinzip her – wegen seiner Breite und Kürze – ein schlechtes Fahrzeug. So verhält er sich auch in der Praxis, wenn unzulässige Maßungenauigkeiten am Kran und an der Kranbahn sowie unzulässige Unterschiede in den angetriebenen Fahrwerken vorhanden sind.

Die IFF Engineering & Consulting GmbH aus Leipzig hat sich nun in Auswer-

tung umfangreicher Messreihen an Kranen mit schlechtem Fahrverhalten dieser Problematik angenommen. Denn selbst, wenn alle in den Normen und Richtlinien VDI 3571 [1], SEB 664035 [2], VDI 3576 [3] und DIN 4132 [4] angegebenen Toleranzen der Herstellungsgenauigkeiten von Kran und Kranbahn eingehalten sind, ist nicht unbedingt gewährleistet, dass der betreffende Kran auf der Kranbahn zwangungsfrei fahren wird. Ein Mangel dieser Normen ist das Betrachten jeder Herstellungsgenauigkeit als Einzelgröße. Notwendig ist es jedoch, alle vorhandenen Herstellungsgenauigkeiten, wie sie im konkreten Praxisfall zufallsbedingt gerade aufgetreten sind, als Gesamtheit zu betrachten und zu prüfen, was vom zu erwartenden Kranschräglauf durch Steuerung und Regelung der Fahrtriebe ausgeglichen werden kann.

Initiiert wurde diese gesamtheitliche Sicht durch die Aufgabe, einen Lagerkran mit hohem Spurkranzverschleiß mit Hilfe einer veränderten Steuerung so auf der Schiene zu führen, dass die Radspurkränze des Kranes die Kranschiene möglichst nicht berühren. Derartige Steuerungen werten über Sensoren z. B. die auf die seitlichen Führungsrollen wirkenden Kräfte bzw. die Stellung des Rades relativ zur Schiene aus und regeln die Antriebe hinsichtlich verschleißminimaler Fahrweise. Nach dem Einbau einer derartigen Steuerung musste am genannten Kran jedoch festgestellt werden, dass damit das Schief- laufen nicht zu beseitigen war. Selbst das vollständige Abschalten der Antriebe einer Seite veränderte das schlechte Fahrverhalten nicht. Die Größe der durch Radstellungsfehler entstehenden Momente und Kräfte überstieg bei diesem Kran die Möglichkeit der Steuerung, mit Hilfe unter-

schiedlicher Antriebsdrehzahlen diese Momente und Kräfte zu kompensieren. Infolge des notwendigen Eingriffs am Kran und der damit verbundenen Stillstandszeiten entstanden bei diesem Experiment hohe Kosten, die letztlich aber nicht zu einer Problemlösung führten. Diese konnte mit der eingebauten Steuerung erst bei gesamtheitlicher Sicht auf alle Herstellungsgenauigkeiten zusammen mit gezielt durchgeführten Korrekturen von Radstellungsfehlern gefunden werden.

Das Ziel der weiteren Untersuchungen bestand deshalb darin, nicht nur alle kranlaufbeeinflussenden Größen zu erfassen, sondern diese so miteinander zu verknüpfen, dass eine *Bewertungszahl* entsteht, die ein Maß für das Fahrverhalten des Kranes darstellt. Diese Bewertungszahl dient zur Entscheidung, ob z. B. allein mit Hilfe einer Steuerung der Schief- lauf ausreichend korrigiert werden kann oder ob zusätzlich Radstellungen des Kranes zu verändern sind. Letzteres ist immer mit einem erheblichen Kostenaufwand verbunden und sollte möglichst vermieden werden.

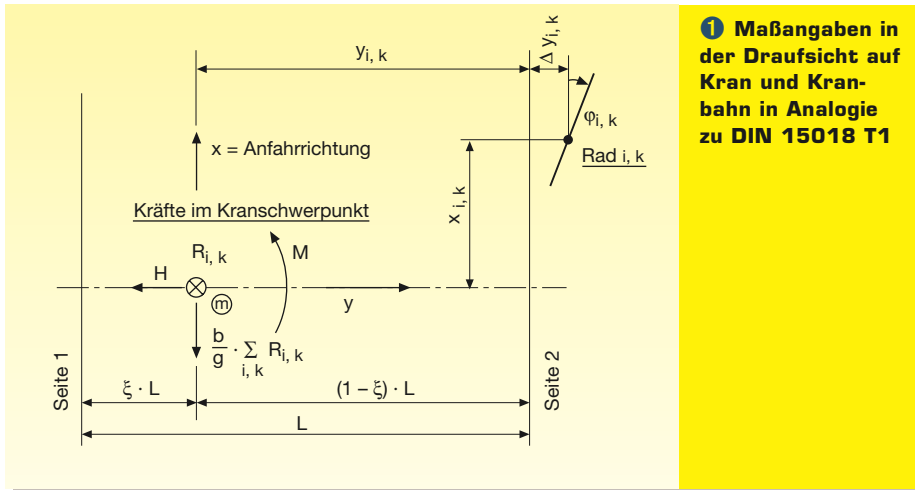
Liegt der Berechnungsalgorithmus programmiert vor, kann mit Hilfe des Programms durch einfaches Durchspielen von Korrekturvarianten eine günstige Sanierungsvariante für den betreffenden Kran ermittelt werden. Für an Einzelheiten Interessierte zeigt der folgende Exkurs eine Kurzfassung des theoretischen Hintergrundes auf.<sup>1)</sup>

## Exkurs zu den theoretischen Grundlagen des Verfahrens

Die Untersuchungen gehen davon aus, dass die Kranbahnträger so bemessen sind, dass sie nicht nur vertikal, sondern auch horizontal ausreichend steif sind. Die auf ihnen aufliegenden Kranschienen sollen gerade und mit einem Schienenbefestigungssystem aufgeschraubt sein, das ein exaktes horizontales Ausrichten der Schienen im Neuzustand und ein ebensolches Nachrichten nach längerer Nutzung der Schienen ermöglicht. Die Herstellungsgenauigkeit der Kranspurweite soll innerhalb der genormten Toleranz liegen. Deswegen wird im Weiteren nur das *Kollektiv der Radstellungsfehler* des Kranes betrachtet.

Radstellungsfehler des Laufrades sind die Achsschrägstellung und der Parallelversatz. Diese Imperfektionen können gemessen werden. Von der IFF E&C GmbH Leipzig ist dazu ein kostengünstiges lasergestütztes Messverfahren entwickelt worden. Im Wesentlichen werden dieselben idealisierenden Annahmen getroffen, wie sie der Schräglauflaufkraftberechnung nach DIN 15018 [5] zugrunde liegen. Bild 1 zeigt die beiden Stränge der Kranbahn, bezeichnet

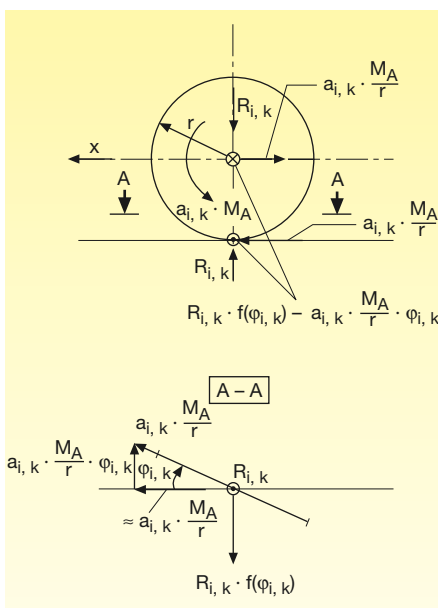
1) Ausführliche Informationen senden die Autoren auf Anforderung gern zu. Red.



mit „Seite 1“ und „Seite 2“, die Lage des Kranschwerpunktes  $m$  mit den resultierenden Kräften  $\Sigma R_{i,k}$  (vertikal),  $b/g \cdot \Sigma R_{i,k}$  (horizontal entgegen der Anfahrriichtung  $x$ ) und  $H$  (horizontal in  $y$ -Richtung, rechtwinklig zur Ideallinie der Fahrbewegungsrichtung  $x$ ) sowie das Laufrad mit dem Zählindex „ $i,k$ “ und den Herstellungsnauigkeiten  $\Delta y_{i,k}$  und  $\varphi_{i,k}$ .  $L$  ist das Sollmaß der Spurweite.  $H$  ist die resultierende Kraft, die den Kran in  $y$ -Richtung abtreiben lässt.  $M$  ist das resultierende Moment um den Kranschwerpunkt  $m$  aller in der Horizontalebene  $x$ - $y$  wirkenden Kräfte. Ist das Laufrad  $i,k$  angetrieben, bekommt es den Faktor  $a_{i,k} = 1$  zugewiesen; ist es nicht angetrieben, bekommt es den Faktor  $a_{i,k} = 0$ . Das Verhältnis

$$\alpha_{i,k} = \frac{a_{i,k}}{\sum a_{i,k}} \quad (1)$$

gibt an, welcher Anteil von der Massenkraft



2 Am Laufrad  $i,k$  wirkende Kräfte und Antriebsmoment  $a_{i,k} \cdot M_A$

$b/g \cdot \Sigma R_{i,k}$  auf das Laufrad mit dem Zählindex „ $i,k$ “ entfällt.

Bild 2 zeigt im oberen Teil mit Blick in  $y$ -Richtung das Laufrad  $i,k$  mit den an ihm wirkenden Kräften und dem Antriebsmoment  $a_{i,k} \cdot M_A$ . Darunter ist die zugehörige Draufsicht gezeichnet. Der Kraftschlussbeiwert  $f(i,k)$  wird entsprechend DIN 15018 berechnet.

Der Faktor  $v_{i,k}$  kennzeichnet die axiale Verschieblichkeit des Laufrades  $i,k$ . Ist es unbegrenzt axial verschieblich, ist  $v_{i,k} = 1$ ; ist es axial fest, ist  $v_{i,k} = 0$  zu setzen. Laufräder, die unter einer in ihrer Ebene verwindungsweichen Pendelstütze laufen, werden – generell mit  $v_{i,k} = 1$  bewertet, wenn das Fahrverhalten des Gesamtkranes untersucht wird – individuell entsprechend ihrer axialen Verschieblichkeit bewertet, wenn das Fahrverhalten der Pendelstütze für sich als fahrendes Einzelobjekt zu untersuchen ist.

Insgesamt müssen beim Kran bzw. an der Pendelstütze so viele Laufräder mit  $v_{i,k} = 0$  bewertet sein, dass das betreffende Objekt, ggf. nach Durchlauf einer kleinen Beweglichkeit bis zum Wirksamwerden der Spurführungsmittel, rechtwinklig zur Kranbahn gehalten wird und sich auch nicht um eine senkrechte Achse drehen kann. Unter diesen Voraussetzungen lassen sich Ansätze für  $\Sigma X$ ,  $\Sigma Y$  und  $\Sigma M$  formulieren.

Hat der Kran horizontale Spurführungsrollen, von denen eine im Abstand  $x_{FR}$  von der Kran-Längsmittellinie entfernt an der Kranschiene anliegt, und ist  $x_{SFM}$  generell der Abstand des äußersten an einer Kranschiene anliegenden Spurführungsmittels – im Sonderfall mit Spurführungsrollen ist  $x_{SFM} = x_{FR}$ , sonst, bei Spurkranführung, ist  $x_{SFM}$  der Abstand  $x_{i,k}$  des spurführenden Laufrades von der Kran-Längsmittellinie –, so lässt sich die größtmögliche auf das Spurführungsmittel (Spurkranz oder Führungsrolle) wirkende Seitenkraft wie folgt berechnen:

$$H_1 = \frac{|H|}{m_{FR} + \sum_{i,k} (1 - v_{i,k})} + \frac{|M \cdot x_{SFM}|}{m_{FR} \cdot x_{FR}^2 + \sum_{i,k} [(1 - v_{i,k}) \cdot x_{i,k}^2]} \quad (2)$$

Darin ist

$$m_{FR} = \begin{cases} 1, & \text{wenn Spurführungsrollen vorhanden sind} \\ 0, & \text{wenn keine Spurführungsrollen vorhanden sind.} \end{cases}$$

**Hinweis:** Sind die Spurführungsrollen in beweglichen Horizontalschwingen gelagert, ist  $x_{FR}$  der Abstand der Lagerung der Horizontalschwinge bzw. des Horizontalschwingensystems von der Kran-Längsmittellinie.

Ist  $n_{FR}$  die Anzahl der im Spurführungspunkt an der Kranschiene anliegenden horizontalen Spurführungsrollen und  $\min R$  die kleinste vertikale Raddruckkraft im zu untersuchenden Betriebszustand, so ergibt sich als Kennwert zum Bewerten des Fahrverhaltens von Kranen die gesuchte *Kranlaufzahl*

$$KLZ = \frac{H_1}{[m_{FR} \cdot (n_{FR} - 1) + 1] \cdot \min R} \quad (3)$$

Der Bezug dieses Kennwertes auf  $\min R$  ist notwendig, weil die aufnehmbare Horizontallast der Kranschiene um so ungünstiger ausfällt, je geringer deren vertikale Auflast ist.

Zu untersuchen ist die Bewertungszahl allgemein für folgende vier Betriebszustände:

- unbeschleunigtes Fahren ( $b/g = 0$ ):
  - a) des unbelasteten Kranes mit Katze in ungünstigster Stellung
  - b) des mit zulässiger Nenntagfähigkeit belasteten Kranes mit Katze in ungünstigster Stellung
- beschleunigtes Fahren mit  $|b/g| > 0$ :
  - a) des unbelasteten Kranes mit Katze in ungünstigster Stellung
  - b) des mit zulässiger Nenntagfähigkeit belasteten Kranes mit Katze in ungünstigster Stellung.

### Anwenderfreundliches PC-Rechenprogramm

Wie aus der theoretischen Herleitung erkennbar, ist das Berechnen der Bewertungszahl nicht nur mühevoll, sondern wegen der zu untersuchenden vier Betriebszustände auch recht aufwändig. Deshalb wurde von der IFF E&C GmbH Leipzig ein anwenderfreundliches PC-Rechenprogramm entwickelt, mit dem die Laufcharakteristik eines Kranes leicht ermittelt werden kann. Eingabewerte sind

- a) die Eigenmassen und Schwerpunktlagen von Kran und Katze; diese sind durch Wägen (z. B. mit Hilfe von Kraftmessdosens) leicht zu ermitteln, wenn die Angaben nicht anderweitig beschaffbar sind
  - b) die größtzulässige Hublast und deren Schwerpunktlage im Grundriss der Katze
  - c) die Anfahrmaße der Katze, bezogen auf die Schwerelinie der Hublast
  - d) die Koordinaten der Ideallage der Lauf-räder
  - e) die gemessenen Herstellungsnauigkeiten  $\varphi_{i,k}$  und  $\Delta y_{i,k}$  aller Laufräder bei den unterschiedlichen Betriebszuständen; diese können mit dem o. g. lasergestützten Messverfahren von IFF in kurzer Zeit ermittelt werden.
- Sofern vorhanden, können statt der Eingabewerte a), b) und c) auch die im betreffenden Betriebszustand auftretenden vertikalen Raddruckkräfte  $R_{i,k}$  direkt eingegeben werden. Durch Variation der Eingabewerte  $\varphi_{i,k}$  und  $\Delta y_{i,k}$  kann mit dem Rechenprogramm im konkreten Anwendungsfall leicht festgestellt werden, welche Sanierungs-

maßnahmen zum Verbessern der Bewertungszahl effektiv und kostengünstig ausführbar sind. Denn wenn ein Kran oder eine Katze schlechtes Fahrverhalten zeigen, ist es ohne Berechnung der Bewertungszahl außerordentlich schwer zu entscheiden, wo, wie und wieviel an den Fahrwerken nachzuarbeiten ist, um das geforderte Mindestmaß der Verbesserung des Fahrverhaltens zu erreichen.

**Literatur**

- [1] VDI 3571 Herstelltoleranzen für Brückenkrane; Laufrad, Laufradlagerung und Katzfahrbahn. Düsseldorf, August 1977.
- [2] SEB 664035 Krane und Kranbahnen einschließlich geschweißter Kranschienenstöße; Toleranzen für das Fahrsystem Laufrad-Schiene. Düsseldorf, März 1990.
- [3] VDI 3576 Schienen für Krananlagen; Schienenverbindungen, Schienenbefestigungen, Toleranzen. Düsseldorf, Oktober 1986.
- [4] DIN 4132: Kranbahnen; Stahltragwerke; Grundsätze für Berechnung, bauliche Durchbildung und Ausführung. Februar 1981.
- [5] DIN 15018 T1 Krane; Grundsätze für Stahltragwerke; Berechnung. November 1984.

**Dipl.-Math. Lutz Bunzel**  
 ist Abteilungsleiter Software bei der IFF E&C GmbH Leipzig



**Dr.-Ing. Christian Grüger**  
 ist Leiter Experimentelle Messtechnik und Bauteilprüfung bei der IFF E&C GmbH Leipzig



**Dr.-Ing. habil. Werner Warkenthin**  
 ist freier Mitarbeiter der IFF E&C GmbH Leipzig, Kransachverständiger, BG-Z 1310



[www.iffec.de](http://www.iffec.de), Tel.: 0341/48752-269

**DEMAG-ELEKTROKETTENZUG DC**  
**Schon in der Praxis bewährt**

Der von der Demag Cranes & Components GmbH aus Wetter (Ruhr) kürzlich vorgestellte Elektrokettenzug DC bewährt sich inzwischen in der Praxis. Die Kunden profitieren schon in der Standardausführung von Produkteigenschaften, die sonst nur optional gegen einen Preisaufschlag oder gar nicht erhältlich sind. Einer der ersten Anwender des Elektrokettenzuges DC ist BorgWarner Turbo Systems, ein Unternehmen, das in Kirchheimbolanden (Rheinland-Pfalz) Turbolader für PKW und Nutzfahrzeuge herstellt. BorgWarner Turbo Systems bestellte bei der Schneider Hebezeuge & Krantechnik GmbH, einem Handelspartner von Demag, einen Säulenschwenkran (Tragfähigkeit 250 kg, Ausladung 3 m) mit dem Elektrokettenzug DC. Das Hebezeug wird genutzt, um die Schlagschneise an einer Schleifmaschine auszutauschen, die die Läufer eines Turboladers schleift. Manuell ließ sich das schwere Teil nicht wechseln. Neben der Technik überzeugte den Betreiber auch das Preis-Leistungs-Verhältnis, woraufhin er in-

**Mit dem neuen Elektrokettenzug DC ausgerüsteter Säulenschwenkran bei BorgWarner Turbo Systems**



(Foto: Demag Cranes & Components)

zwischen in einen weiteren Elektrokettenzug DC investierte. Der Anwender betont, dass sich der DC aufgrund seiner standardmäßig 5 m langen Kette und seines in der Höhe variabel verstellbaren Einachs-Steuerschalters DSC optimal für diese Anwendung eignet. Denn das Steuerkabel muss bei den vielen kleineren Umbauten nicht ständig aufwändig an unterschiedlichste Hakenwege bzw. Arbeitsplätze angepasst werden. Außerdem lässt sich der Zug relativ schnell austauschen und anderweitig wieder einsetzen. Der Steu-

erschalter DSC wurde für ein ermüdungsarmes, schnelles und ergonomisches Bedienen ausgelegt. Auch dem Sicherheitsgedanken trägt Demag beim DSC Rechnung, indem grundsätzlich nur noch eine 24-V-Schützsteuerung angeboten wird, damit der Bediener keine Direktsteuerung mit 400 V schalten muss. In Richtung Arbeitssicherheit zielt auch das anhand der Drehzahl überwachte Brems- und Rutschkupplungsprinzip. Diese technische Innovation garantiert maximale Sicherheit sowie einen minimierten War-

tungsaufwand. Außerdem verhindert das Prinzip ein Absacken der Last und ein Dauerrutschen, das aus einer Fernbedienung resultieren kann. Einen beachtlichen Zeitgewinn und ebenfalls mehr Verfügbarkeit verspricht die zentral am Kettenzug angebrachte Servicehaube, durch die auf alle für die Inbetriebnahme und den Service relevanten Baugruppen zugegriffen werden kann. Hierzu zählen die wichtigen elektrischen Steckverbindungen, das komplette Ketten-Set inklusive Ketten-schmierung sowie die Speichermöglichkeit für die Steuerleitung. Zudem ermöglicht die neue Kettenführung den zügigen Wechsel des kompletten Kettentriebs, ohne Motor- oder Getriebeteile demonstrieren zu müssen.

BorgWarner Turbo Systems profitiert auch davon, dass das Schleppkabel für die Stromversorgung des Kettenzuges über ein Drahtseil parallel zum Kranausleger geführt wird. Normalerweise wird das Kabel durch einen Kabelbahnhof oder teilweise als durchhängende Leitung von der Säule bis zum äußersten Ende des Auslegers geleitet. Dadurch verringert sich aber das Anfahrmaß an der Säule, und das Kabel hängt mehr durch.

[www.demagcranes.com](http://www.demagcranes.com),  
 Tel.: 02335/92-1127