



Zur Förderung der qualitäts- wirksamen Potenziale der Ingenieurvermessung bei der Qualitätssicherung von Kranbahnen

Karl-Hans Klein, Hans Schulz

Es wird untersucht, ob die Möglichkeiten der Ingenieurvermessung – insbesondere die Gewährleistung der geometrischen Qualität – zur allgemeinen Qualitätssicherung von Kranbahnen beitragen können.

1 Einleitung

Ingenieurvermessungen befassen sich nicht nur mit der Aufnahme, Absteckung und Überwachung von Bauobjekten, sondern auch von Anlagen des Maschinenbaus.

Während man sich bereits die Frage nach den qualitätswirksamen Potenzialen der Ingenieurvermessung im Bauwesen stellte [1], ist auch die Qualitätswirksamkeit der Ingenieurvermessung im Maschinenbau festzustellen und zu fördern.

Ein bekanntes Aufgabengebiet im Maschinenbau ist die Aufmessung und Überwachung von Kranbahnen. Bevor jedoch eine Weiterentwicklung der Potenziale der Ingenieurvermessung für die Gewährleistung der Qualität und Sicherheit von Kranbahnanlagen erfolgen kann, ist der wissenschaftlich-technische Stand der Kranbahnmessungen zu analysieren. Die Qualität der Kranbahnanlagen und das Vorhandensein optimaler Messtechnologien, u. a. zur Gewährleistung der geometrischen Qualität, werden zukünftig eine noch größere Bedeutung als Wettbewerbsfaktor erlangen.

2 Zur Qualität bei Kranen

Aus der Sicht des Nutzers von Kranbahnanlagen ist die Qualität eines Kranes dann gegeben, wenn die ihm übertragene Nutzung während einer angemessen langen Dauer unter vertretbaren Betriebskosten zuverlässig erfüllt wird. Dazu gehören u. a. Funktionstüchtigkeit, Zuverlässigkeit und Sicherheit. Zum Erreichen und Einhalten dieser Qua-

litätsmerkmale sind auch geometrische Messungen (Ingenieurvermessungen) erforderlich.

Der Begriff „Geometrische Qualität“ kann – in Anlehnung an die Terminologie der DIN EN ISO 8402 [2] – wie folgt definiert werden: Geometrische Qualität ist die realisierte Beschaffenheit eines Produktes, z. B. einer Kranbahn, bez. einer geometrischen Qualitätsforderung. Die geometrische Qualitätsforderung an Kranbahnen umfasst eine Reihe von messbaren Parametern, deren vorgegebene Toleranzen eingehalten werden müssen. Diese Toleranzen sollen bei der Errichtung und während der Nutzung der Kranbahnen die Abweichungen von den Nennmaßen der Größe, der Gestalt und der Lage begrenzen. Sie geben somit die im Rahmen üblicher Sorgfalt zu erreichende Genauigkeit an, die eine funktionsgerechte Ausführung und den sicheren Betrieb von Kranbahnen garantiert.

3 Krane

Krane sind Hebe- und Förderanlagen zur Vertikal- und Horizontalbewegung von Lasten. Sie sind in der Norm DIN 15001 [4] klassifiziert. In Abb. 1 sind die Krane mit Kranbahnen zusammengestellt, die zur Qualitätssicherung beim Bau und im Betrieb durch geometrische Vermessungen betreut werden müssen.

Die Forderungen zur Einhaltung der geometrischen Parameter sind für die aufgeführten Krane in Vorschriften und Normen [11, 12, 13, 14] festgelegt. Sie sollen u. a. auf ihre praktische Realisierbarkeit mit vorhandenen ingenieurgeodätischen Verfahren geprüft werden.

| Benennung | Beschreibung |
|---|--|
| Fahrbarer Auslegerkran | fahrbarer schienengebundener Auslegerkran |
| Schienenfahrbarer Drehkran | auf Schienen fahrbarer Drehkran mit besonderer Kranbahn, die zu ebener Erde oder auf Hochbahn verlegt sein kann, und deren Spurweite meist größer als Regelspur (1435 mm) ist |
| Einschienendrehkran | Drehkran, der auf einer Schiene am Boden läuft und sich gegen eine Schiene an der Decke oder einem Hilfsträger, der gegenüber der Fahrschiene auch seitlich versetzt sein kann, abstützt |
| Brückenkran | auf hochgelegenen Kranbahnen (Hochkranbahnen) fahrbare Krane in Brückenkonstruktion – verschiedene Ausführungen |
| Hänge-, Deckenkran | Brückenkran, dessen Fahrbahnen pendelnd oder fest aufgehängt sind, vorwiegend an Decken oder Dachkonstruktionen |
| Halbportalkrane | ortsfeste oder auf einer Schiene und einer Hochkranbahn fahrbare Portalkrane mit nur einer Stütze |
| Vollportalkrane (große Bauarten: Verladebrücken) | feststehende, auf Schiene oder frei fahrbare Portalkrane mit zwei Stützen |
| Halbportal- und Vollpor- | Portalkrane mit geneigter Fahrbahn für die Entladung von Schiffen |
| Wandlaufkrane talschrägbahnentlader | auf senkrecht oder nahezu senkrecht übereinander angeordneten Kranbahnen längs einer Wand fahrbare Krane |
| (Schienen-) Turmdrehkran | fahrbarer Turmdrehkran mit angetriebenem Unterwagen auf Schienen; auf dem Turm aufgesetzt |
| Kabelkran mit einer fahrbaren Stütze oder Wagen | Kabelkran, dessen Trageil angeordnet ist zwischen einem Festpunkt (z. B. einer festen Stütze) und einem auf einer radialen Kranbahn fahrbaren Teil |
| Kabelkran mit zwei fahrbaren Stützen oder Wagen | Kabelkran, dessen Trageil angeordnet ist zwischen zwei auf parallelen Kranbahnen fahrbaren Teilen – verschiedene Ausführungen |

Abb. 1: Krane mit Kranbahnen

4 Festlegungen zur Kontrolle und Überwachung geometrischer Parameter von Kranbahnen

Die Festlegungen zur Kontrolle und Überwachung geometrischer Parameter für Kranbahnen lassen sich nach dem Zeitpunkt der Vermessungen und nach den Genauigkeitsforderungen einteilen.

4.1 Zum Zeitpunkt der Vermessungen

Nach der Vorschrift [5] des Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften ist festgelegt, dass die Krananlagen

- (1) vor der ersten Inbetriebnahme,
 - (2) nach wesentlichen Änderungen der Krananlage,
 - (3) nach entsprechenden Einsatzbedingungen und den betrieblichen Verhältnissen,
 - (4) jedoch mindestens jährlich,
- überprüft werden müssen.

Nach [6] wird den Betreibern von Krananlagen vor der ersten Inbetriebnahme und nach so genannten „wesentlichen“ Änderungen auch die messtechnische Überprüfung der Kranbahnen vorgeschrieben. Im

Rahmen der wiederkehrenden Prüfungen der Krananlage, die entsprechend den Einsatzbedingungen und den betrieblichen Verhältnissen, jedoch mindestens jährlich durchzuführen ist, dienen diese Prüfungen nach [6] der Arbeitssicherheit des Kranes. Sie erfolgen in der Regel als Sicht- und Funktionsprüfung. Nur wenn diese nicht ausreicht, sind „weiter gehende“ Maßnahmen zu veranlassen.

Die fehlenden Aussagen zu messtechnischen Kontrollen von Kranbahnen in den Fällen (3) und (4) lassen vermuten, dass durch die Betreiber nur im äußersten Notfall, d. h. wenn man mit bloßem Auge bereits die Verformungen der Kranbahnschienen als Sicherheitsrisiko feststellt oder es bereits zur Havarie gekommen ist, Kranbahnkontrollmessungen veranlasst werden. Es wäre zu untersuchen, ob durch regelmäßige Kontrollmessungen und ggf. Richten der Kranbahnschienen nach einem Standardprogramm mit modernen Messmitteln nicht nur die Sicherheit nachgewiesen wird, sondern auch der Verschleiß des Kranes reduziert, die Lebensdauer einer Anlage verlängert und die Kosten für den Betreiber verringert werden könnten.

4.2 Genauigkeitsforderungen an die geometrischen Parameter der Kranbahnen

In den vorhandenen Vorschriften und Normen existieren keine unmittelbaren Genauigkeitsforderungen an die messtechnische Überprüfung der geometrischen Parameter von Kranbahnen. Aus den Forderungen an die Herstellungstoleranzen von Kranbahnen lassen sich jedoch mit Hilfe der Festlegungen im Normentwurf DIN 18 710 – Ingenieurvermessung [7, 8, 9, 10] und in der VGB-Richtlinie zur Prüfung von Krananlagen VGB-R 631U [17] die Vermessungsgenauigkeiten ableiten.

In Abb. 2 sind die wichtigsten Vorschriften, Normen und Entwürfe mit den Maßtoleranzen für die Herstellung von Kranbahnen zusammengestellt. Es sind die Differenzen zwischen dem zulässigen Größt- und Kleinstmaß (+ und –) [15] festgelegt. Man spricht auch von zulässigen Herstellungstoleranzen.

Die seit 1981 existierende Norm DIN 4132 [11] legt die Herstellungstoleranzen für Kranbahnen von Brückenkranen fest. Diese Vorgaben bilden häufig die Grundlage für Kranbahnkontrollmessungen in der Praxis.

Der internationale Standard ISO 8306 [13] legt die Herstellungstoleranzen für alle Arten von Kranbahnen fest. Er weist gegenüber der DIN 4132 für drei geometrische Messgrößen Toleranzvorgaben auf, die in der DIN 4132 nicht festgelegt wurden. Er legt aber die Parallelität der Endanschlüsse (Puffer) im Gegensatz zur DIN 4132 nicht fest. Die in beiden Normen festgelegten Herstellungsmaße unterscheiden sich bezüglich der einzuhaltenden Herstellungstoleranzen nicht oder nur unwesentlich.

Die VDI-Richtlinie VDI 3576 – Entwurf [12] unterscheidet sich von den o. g. Normen dadurch, dass die einzuhaltenden Herstellungstoleranzen in vier Toleranzklassen (TK) angegeben werden. Die Zuordnung eines Kranes zu einer der vier TKs hängt im Wesentlichen von der Beanspruchung der Krananlage ab. Diese ergibt sich nach den in der DIN 15018 [16] festgelegten Krite-

| Toleranz | | DIN 4132 (1981) | ISO 8306 (1985) | VDI 3576 – Entwurf (1995) | | | | ENV 1993-6 (Entw.) (1999) |
|--|-------------------------|--|---|--|--|--|--|--|
| | | | | TK 1 | TK 2 | TK 3 | TK 4 | |
| Bezeichnung | Abbildung aus: VDI 3576 | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] |
| Spurmittenmaß s | | $s \leq 15 \text{ m: } \Delta s = \pm 5$ $s > 15 \text{ m: } \Delta s = \pm (5 + (s-15)/4)$ | $s \leq 10 \text{ m: } \Delta s = \pm 3$ $s > 10 \text{ m: } \Delta s = \pm (3 + (s-10)/4)$ max $\Delta s = 15$ | $s \leq 16 \text{ m: } A = \pm 5$ $s > 16 \text{ m: } A = \pm (5 + (s-16)/4)$ | $s \leq 16 \text{ m: } A = \pm 8$ $s > 16 \text{ m: } A = \pm (8 + (s-16)/4)$ | $s \leq 16 \text{ m: } A = \pm 12,5$ $s > 16 \text{ m: } A = \pm (12,5 + (s-16)/4)$ | $s \leq 16 \text{ m: } \Delta s = \pm 5$ $s > 16 \text{ m: } \Delta s = \pm (5 + (s-16)/4)$ | |
| Seitliche Geradheit der Kranschiene | | $\Delta s = \pm 10$ | $\Delta s = \pm 10$ | B = ± 5 | B = ± 10 | B = ± 20 | B = ± 40 | $\Delta s = \pm 10$ |
| Seitliche Geradheit der Kranschiene bezogen auf 2000 m Messlänge | | $\Delta s = \pm 1$ ($\Delta s = \pm 0,5$ bei einseitig geführten Kranen) | $\Delta s = \pm 1$ | b = ± 2 | b = ± 1 | b = ± 2 | b = ± 4 | $\Delta s = \pm 1$ |
| Geradheit der Kranschiene bezogen auf die Höhenlage der Kranschiene | | $\Delta h = \pm 10$ | $\Delta h = \pm 10$ | C = ± 5 | C = ± 10 | C = ± 20 | C = ± 40 | $\Delta h = \pm 10$ |
| Geradheit der Höhenlage der Kranschiene bezogen auf 2000 mm Messlänge | | $\Delta h = \pm 2$ | $\Delta h = \pm 2$ | c = ± 1 | c = ± 2 | c = ± 4 | C = ± 8 | $\Delta h = \pm 2$ |
| Höhenlage bezogen auf rechtwinklig gegenüberliegende Messpunkte | | - | $\Delta h_{\text{max}} = \pm 10$ | E = $\pm 0,5\%$ s, s in [mm] E _{max} = ± 5 | E = $\pm 1\%$ s, s in [mm] E _{max} = ± 10 | E = $\pm 2\%$ s, s in [mm] E _{max} = ± 20 | E = $\pm 4\%$ s, s in [mm] E _{max} = ± 40 | $s \leq 10 \text{ m: } \Delta h = \pm 10$ $s > 10 \text{ m: } \Delta h = \pm s$ in [mm] |
| Parallelität von Endanschlüssen oder Puffern rechtwinklig zur Längsachse | | $\Delta s = \pm 1\%$ s, s in [mm] max $\Delta s = 20$ | - | F = $\pm 0,8\%$ s, s in [mm] F _{max} = ± 8 | F = $\pm 1\%$ s, s in [mm] F _{max} = ± 10 | F = $\pm 1,5\%$ s, s in [mm] F _{max} = $\pm 12,5$ | F = $\pm 1,6\%$ s, s in [mm] F _{max} = ± 16 | $\Delta s \leq \pm 1,0\%$ s, s [mm] max $\Delta s = 10$ |
| Neigung einer Kranschiene bezogen auf den Kranschienequerschnitt | | - | $\pm 3\%$ in Längsrichtung $\pm 5\%$ seitlich | G = 4% | G = 6% | G = 9% | G = 12% | - |
| Parallelität der Kranschiene zum Steg des Trägers, auf dem sie befestigt ist | | - | $\pm 1/2 t_{\text{min}}$ | K = $\pm 1/2 t_{\text{min}}$ t_{min} = kleinste Blechdicke des Steges | | | | $\pm 1/2 t_{\text{min}}$ |
| Neigung der Schienen zueinander (Schränkung) | | - | - | N = $\pm 0,5\%$ | N = $\pm 1\%$ | N = $\pm 2\%$ | N = $\pm 4\%$ | - |

Abb. 2: Kranbahnen – Herstellungstoleranzen

rien. Die Einteilung in unterschiedliche TKs ist für Hersteller und Nutzer von Kranbahnanlagen u. a. von wirtschaftlicher Bedeutung. Nicht bei allen Kranen – die sich nach Bauart sowie Betriebs-, Arbeits- und Beanspruchungsleistung deutlich unterscheiden können – müssen dieselben Herstellungstoleranzen gefordert und eingehalten werden. Für Krane, an die besondere Leistungsanforderungen gestellt werden, ist die TK 1 vorgesehen. Die in TK 1 einzuhaltenden Toleranzen liegen über den Forderungen der DIN 4132 und der ISO 8306, die den Festlegungen der TK 2 entsprechen. Die TK 3 und TK 4 sind für Krane vorgesehen, die unabhängig von ihrer Beanspruchungsgruppe [16] nur gelegentlich und/oder nur über eine kurze Fahrstrecke bewegt werden. Die Richtlinie VDI 3576 – Entwurf legt gegenüber der DIN 4132 sowie der ISO 8306 Toleranzen für zusätzliche geometrische Messgrößen der Kranbahnen fest. Damit enthält dieser Entwurf die differenziertesten Anforderungen an die einzuhaltenden Herstellungstoleranzen (Abb. 2). Im Rahmen der Harmonisierung Europäischer Normen für Bauprodukte ist der Entwurf ENV 1993-6 als Teil des Eurocodes 3 für Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten [14] entstanden, welcher im Wesentlichen die in der DIN 4132 und ISO 8306 festgelegten Herstellungstoleranzen für Kranbahnen beinhaltet.

Festlegungen zum Umfang der Kontroll- und Überwachungsvermessungen von Kranbahnen werden in den Vorschriften und Normen nicht getroffen. Der Vermessungsaufwand wird durch die Genauigkeitsforderungen, von der Art des Kranes und seiner Zugänglichkeit bestimmt.

5 Zur Ableitung der Messgenauigkeit für Kranbahnkontrollmessungen

Zur Ableitung der Messgenauigkeit für Kranbahnkontrollmessungen wurden in der E DIN 18710 – Teil 1 [7] und in der Prüfungsrichtlinie der Technischen Vereinigung der Großkraftwerksbetreiber e.V. VGB-R 631U [17] Festlegungen getroffen.

In der E DIN 18710 – Teil 1 geht man zur Ableitung der Messgenauigkeit von vorgegebenen Maßtoleranzen (= Herstellungstoleranzen) T aus. Es wird empfohlen, einen Anteil p von der Maßtoleranz T für die Vermessungstoleranz T_M vorzusehen, während man in der VGB-R 631U diesbezüglich keine Festlegungen getroffen hat. Hier wird die Messgenauigkeit im Unterschied zur E DIN 18710 – Teil 1 nicht aus einem Teil der Maßtoleranz abgeleitet, sondern aus wiederholten Messungen. Es wird geprüft, ob die Messunsicherheit der Kontrollmessungen innerhalb der zulässigen Maßtoleranz liegt und diese gesichert ist.

In beiden Fällen geht man davon aus, dass die Messabweichungen normal verteilt sind.

5.1 Ableitung der Messgenauigkeit nach E DIN 18710 – Teil 1

In den Kranbahnvorschriften und -normen wurden, wie aus Abb. 2 zu ersehen ist, für die Toleranzvorgaben zwar unterschiedliche Bezeichnungen gewählt, aber nach [7] und [15] sind es Maßtoleranzen T.

Die Maßtoleranz T setzt sich aus der Vermessungstoleranz T_M und der Ausführungstoleranz T_A wie folgt zusammen:

$$T^2 = T_A^2 + T_M^2, \tag{1}$$

wobei sich T_A wiederum aus der Fertigungs- und Montagetoleranz zusammensetzt.

Die Anwendung des Toleranzfortpflanzungsgesetzes, welches – analog zum Varianzfortpflanzungsgesetz – die quadratische Addition von T_A und T_M vorsieht, ist bei Kranbahnen gerechtfertigt, da die Herstellung der Kranbahn und die vermessungstechnische Überprüfung derselben zeitlich getrennt voneinander durchgeführt und daher als nicht korreliert angenommen werden können. Die Messgenauigkeit, die in einer Vorschrift oder in einer Norm vorzugeben ist, wird durch die Standardabweichung σ (Grundgesamtheit) festgelegt. Mit einem gewählten Vertrauensniveau P = 1 – α (z. B. 95 %) ergibt sich die Messunsicherheit zu

$$\sigma = \frac{T_M}{2k}, \tag{2}$$

wobei k das zu P = 1 – α gehörige Quantil der Normalverteilung darstellt [18]. Für die Vermessungstoleranz T_M ist von der Maßtoleranz T ein Anteil p wie folgt vorzusehen:

$$T_M = T \sqrt{1 - (1 - p)^2}. \tag{3}$$

Gebräuchliche Werte für den Anteilsfaktor p liegen zwischen 10 % ≤ p ≤ 30 %. Daraus resultiert

$$0,44 T \leq T_M \leq 0,71 T. \tag{4}$$

Das folgende Beispiel zeigt eine praktische Anwendung zur Ableitung einer Messgenauigkeit nach E DIN 18710 – Teil 1.

Beispiel 1:

Wählt man eine Herstellungstoleranz (Maßtoleranz) von T = ± 3 mm, einen Anteilsfaktor für die Vermes-

| Toleranz T nach VDI 3576 – Entwurf | | Zulässige Messunsicherheit σ | | | |
|---------------------------------------|----------------------------|------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | | nach E DIN 18710 – Teil 1 | | nach VGB-R 631U | |
| Toleranzklasse 1 | | | | | |
| Spur s = 6 m | Spur s = 50 m | Spur s = 6 m | Spur s = 50 m | Spur s = 6 m | Spur s = 50 m |
| T _A = ± 3 mm | T _A = ± 11,5 mm | σ _A = 0,9 mm | σ _A = 3,5 mm | σ _A = 0,4 mm | σ _A = 1,5 mm |
| T _B = ± 5 mm | T _B = ± 5 mm | σ _B = 1,5 mm | σ _B = 1,5 mm | σ _B = 0,7 mm | σ _B = 0,7 mm |
| T _b = ± 1 mm | T _b = ± 1 mm | σ _b = 0,3 mm | σ _b = 0,3 mm | σ _b = 0,1 mm | σ _b = 0,1 mm |
| T _C = ± 5 mm | T _C = ± 5 mm | σ _C = 1,5 mm | σ _C = 1,5 mm | σ _C = 0,7 mm | σ _C = 0,6 mm |
| T _c = ± 1 mm | T _c = ± 1 mm | σ _c = 0,3 mm | σ _c = 0,3 mm | σ _c = 0,1 mm | σ _c = 0,1 mm |
| T _E = ± 3 mm | T _E = ± 5 mm | σ _E = 0,9 mm | σ _E = 1,5 mm | σ _E = 0,4 mm | σ _E = 0,7 mm |
| T _F = ± 4,8 mm | T _F = ± 8 mm | σ _F = 1,5 mm | σ _F = 2,5 mm | σ _F = 0,6 mm | σ _F = 1,1 mm |

Abb. 3: Beispiele für zulässige Messunsicherheiten bei Kranbahnkontrollmessungen

sung von $p = 20\%$ und ein Vertrauensniveau von $P = 95\%$, so ergibt sich nach Gleichung (3)

$$T_M = 6 \text{ mm} \cdot \sqrt{1 - (1 - 0,2)^2} = 3,6 \text{ mm}.$$

In die Gleichung (2) eingesetzt, erhält man

$$\sigma = \frac{3,6 \text{ mm}}{2 \cdot 1,96} = 0,92 \text{ mm}.$$

Berechnet man analog zu Beispiel 1 aus den vorgegebenen Toleranzen der TK 1 (VDI 3576 – Entwurf, Abb. 2) die zulässigen Messunsicherheiten nach E DIN 18710 – Teil 1, so erhält man die in Abb. 3 zusammengestellten Werte.

5.2 Ableitung der Messgenauigkeit nach VGB-R 631U

In der VGB-R 631U wird die Messgenauigkeit aus Wiederholungsmessungen abgeleitet und durch den Mittelwert \bar{x} und die empirische Standardabweichung s ausgedrückt.

Für den berechneten Mittelwert \bar{x} wird die Messunsicherheit u wie folgt berechnet:

$$u = \frac{t}{\sqrt{n}} \cdot s, \quad (5)$$

Hierbei ist der Wert t der vom Umfang der Messreihe und vom Vertrauensniveau $P = 95\%$ abhängige Grenzwert der t -Verteilung nach Student (Studentfaktor).

Nach [18] muss der \bar{x} -Wert mit einer 95%igen Wahrscheinlichkeit innerhalb eines Vertrauensintervalls liegen, dessen untere Grenze durch $\bar{x} - u$ und dessen obere Grenze durch $\bar{x} + u$ gegeben ist. Dabei muss der \bar{x} -Wert mit seinem Vertrauensintervall innerhalb eines zulässigen „Abmaßbereiches z “ liegen. Für das

Vertrauensintervall wird $\frac{1}{3}$ des zulässigen Abmaßbereiches empfohlen. Da der gesamte zulässige Abmaßbereich z vom oberen und unteren zulässigen Abmaß begrenzt wird, entspricht dieser Bereich der Maßtoleranz T nach [7] und [15]. Für die Genauigkeit von Kranbahnkontrollmessungen ergibt sich nach VGB-R 631U folgende Festlegung:

$$T = z \geq 6s \cdot \frac{t}{\sqrt{n}}. \quad (6)$$

Das folgende Beispiel zeigt eine praktische Anwendung zur Ableitung einer Messgenauigkeit nach VGB-R 631U.

Beispiel 2:

Wählt man, wie im Beispiel 1 (Abschn. 5.1), eine zulässige Maßtoleranz von $T = \pm 3 \text{ mm}$, ein zweiseitiges Vertrauensniveau von $P = 95\%$, so muss zur Berechnung der Messunsicherheit s nach Gleichung (5) die Anzahl der Messungen festgelegt werden. Wählt man die Anzahl der Wiederholungsmessungen mit $n = 3$, so ergibt sich mit dem Studentfaktor $t = 4,30$ für $\frac{t}{\sqrt{n}}$ der Wert 2,5. Setzt man diese Werte in (6) ein, so erhält man die Messunsicherheit $s \leq 0,4 \text{ mm}$.

In Abb. 3 wurden nach dem Beispiel 2 zum Vergleich mit den zulässigen Messunsicherheiten nach E DIN 18710 – Teil 1 auch die entsprechenden Werte nach der VGB-R 631U berechnet.

5.3 Zum Vergleich der zulässigen Messunsicherheiten nach E DIN 18710 – Teil 1 und VGB-R 631U

Aus dem Vergleich (Abb. 3) der berechneten Messunsicherheiten nach E DIN 18710 – Teil 1 und nach VGB-R 631U ergibt sich, dass unabhängig von der Länge des Herstellungsmaßes nach E DIN 18710 – Teil 1, Genauigkeiten zwischen 0,3 mm und 3,5 mm und nach VGB-R 631U Genauigkeiten von 0,1 mm bis 1,5 mm erreicht werden müssen. Insbesondere die Forderungen, die sich aus der VGB-Richtlinie ergeben, erscheinen praxisfremd. Aber auch die praktische Notwendigkeit einer Genauigkeit von $s = 0,5 \text{ mm}$, abgesehen von dem messtechnischen Aufwand, muss angezweifelt werden, wenn man nur an die Möglichkeiten der Vermarkung von Vermessungspunkten an den abgenutzten Schienen der Kranbahnen denkt. In [7] werden Pfeilerkopflatten und Pfeilerbolzen zur Zwangszentrierung als höchste Vermarkungsgenauigkeit für Lagepunkte mit einer Unsicherheit von $< 0,3 \text{ mm}$ angegeben. Des Weiteren erscheint die Lagestabilität für einen an einem Stahlteil vermarkten Punkt mit einer Genauigkeit $\leq 0,5 \text{ mm}$ – allein aufgrund von Veränderungen durch Temperatureinflüsse

und der nur schwer erfassbaren tatsächlichen Temperaturverhältnisse – bei Messungen zu verschiedenen Zeiten nicht immer gegeben.

Der Vergleich lässt die Schlussfolgerung zu, dass die E DIN 18710 – Teil 1 geeignet ist, aus den vorgegebenen Maßtoleranzen für Kranbahnen Messgenauigkeiten differenziert abzuleiten. Sowohl über den Anteilfaktor p , der den Anteil der Vermessungstoleranz an der Maßtoleranz festlegt, als auch über das anzuhaltende Vertrauensniveau $P = 1 - \alpha$ kann eine flexible Anpassung an die jeweilige Kranbahn/Kranbahnart erreicht werden. Insbesondere der Anteilfaktor p könnte sich an einer Einteilung der Kranbahnen in Toleranzklassen orientieren (vgl. VDI 3576 – Entwurf [12]). Darüber hinaus könnte eine unterschiedliche Festlegung von p auch in Abhängigkeit vom einzelnen Herstellungsmaß erfolgen. Dies hieße, dass beispielsweise für die Herstellung des Spurmittenmaßes der Vermessung ein höherer Anteil an der Gesamt-/Maßtoleranz zugestanden würde, als dies für die Herstellung der gegenseitigen Höhenlage beider Schienen getan wird.

6 Geodätische Messverfahren zur Kranbahnkontrollvermessung

Zur Kontrolle und Überwachung geometrischer Parameter von Kranbahnen wurden verschiedene geodätische Verfahren adaptiert. Sie wurden den unterschiedlichen Bauarten der Krane, z. B. für die sich mehrere Meter über dem Boden befindenden Brückentrane oder die ebenerdigen Portalkrane, angepasst. Außerdem wurden die praktischen Verhältnisse berücksichtigt, dass z. B. ein Teil des Messfeldes gleichzeitig Arbeitsbereich des Kranes ist und nur äußerst selten uneingeschränkt für Vermessungsarbeiten zur Verfügung steht.

Die Messverfahren für Kranbahnkontrollvermessungen lassen sich wie folgt in zwei Hauptgruppen einteilen:

- (1) Alignierverfahren,
- (2) Polar- und Tachymeterverfahren.

6.1 Alignierverfahren

Die Vermessungsverfahren, die auf dem bekannten geodätischen Alignierverfahren basieren, überprüfen die Lage und Höhe jeder einzelnen Schiene für sich. Dies erfolgt dadurch, dass durch die jeweilige Aufstellung eines „Aligniergerätes“ und einer festen Zielvorrichtung für die einzelne Schiene eine Lage- und/oder Höhenbezugslinie (Alignierlinie) geschaffen wird.

Ablesevorrichtungen, die an der zu kontrollierenden Kranbahnschiene befestigt werden, ermöglichen die Feststellung von Lage- und/oder Höhenunterschieden bezogen auf die Alignierlinie. Es existieren eine Reihe verschiedener Ablesevorrichtungen. Zur Beschleunigung der Messungen wurden Messschlitten entwickelt, die auf der Schiene fahrbar und für variable Schienenformen geeignet sind, eine Zentrierung und Horizontierung ermöglichen und die eigentliche Ablesevorrichtung, z. B. Zieltafel, Prisma oder Laserempfänger, tragen. Es wurden manuell gezogene oder ferngesteuerte Messwagen [19, 20] entwickelt. Durch den Einsatz von ferngesteuerten Messwagen kann die Arbeitskraft eingespart werden, welche die Ziel- und Ablesevorrichtung von Objektpunkt zu Objektpunkt versetzen muss. Damit kann insbesondere bei Brückenkränen ein besserer Arbeitsschutz in Verbindung mit wirtschaftlichen Einsparungen gewährleistet werden.

6.1.1 Kranbahnalignment mit Theodolit

Bei der Anwendung dieses Verfahrens werden ein Theodolit und eine Zieltafel über die beiden Schienenenden oder auf vermarkte Punkte, die ungefähr parallel im Abstand bis zu ca. 20 cm zur jeweiligen Schiene liegen, zwangszentriert aufgestellt. Sie bleiben während der Messungen unverändert und bilden die Alignierlinie für die Lage- und Höhenmessungen. Es werden entweder die direkten Abweichungen von der Solllage bestimmt oder die jeweiligen Maße müssen nachträglich so transformiert werden, dass die Geradlinigkeit und Ebenheit der Schiene überprüft werden können.

Die Objektpunkte, die mit der Ablesevorrichtung signalisiert werden sollen, werden vor Beginn der Aligniermessung an den Schienen in gleichen Abständen mit Hilfe eines Messbandes festgelegt und vermarktet.

Die Spurweite wird mit einem geprüften Stahlmessband unter Berücksichtigung der Temperatur- und Zugkrafteinflüsse sowie des Durchhanges bestimmt.

Die bei diesem Verfahren erreichbaren Messgenauigkeiten für die Spurmitenmaß- und Abstandsmessungen liegen bei 1 bis 2 mm [21].

6.1.2 Reiterverfahren

Unter der Voraussetzung, dass zwischen zwei hoch gelegenen Kranbahnschienen Sichtverbindung besteht, wird beim Reiterverfahren [22] in der Mitte zwischen beiden Schienen eine lage- und höhenmäßig festgelegte Basis geschaffen. Ihr Anfangs- bzw. Endpunkt dient als Stand- oder Zielpunkt für den zwangszentrierten Theodoliten bzw. für die Zieltafel. Zwischen den beiden Schienen wird ein geprüftes Stahlmessband gespannt und im Bereich der Basislinie (Alignierlinie) ein Reiter mit einer Skala aufgesetzt. Mittels einer Klemmvorrichtung wird das Messband an einer Schiene durch eine Arbeitskraft fixiert. Je nach Schienenform und Einzugslänge des Messbandes in der Klemmvorrichtung ergibt sich für die Ablesung am Messband an gegenüberliegenden Schienenpunkt eine Additionskonstante. Die Ablesung der Entfernung ist unter Berücksichtigung der Additionskonstanten sowie der anderen Einflussgrößen bei der mechanischen Distanzmessung das Spurmitenmaß. Die Ablesung am Reiter liefert als Ergebnis die Geradheit derjenigen Schiene, an der die Klemmvorrichtung befestigt ist. Über das an jedem gegenüberliegenden Punkt ermittelte Spurmitenmaß lässt sich die Geradheit der zweiten Schiene errechnen. Bei jeder Messbandlage wird das Messband über eine fixierte Anlegevorrichtung an der Innen- und Außenkante angelegt, so dass zwei unabhängige Messungen entstehen. Bei dem Reiterverfahren

muss die Höhenkontrolle der Kranbahnschienen durch ein Nivellement vorgenommen werden. Ein Vorteil dieses Verfahrens ist es, dass durch zwei unabhängige Messungen in einem Messpunktpaar auch das Spurmitenmaß in einer Messung ermittelt werden kann.

Die mit dem Reiterverfahren zu erreichenden Messunsicherheiten für die geometrischen Parameter der Lage liegen wie bei dem Verfahren unter 6.1.1 bei 1 bis 2 mm.

6.1.3 Laseralignment

Beim Laseralignment tritt an Stelle des optischen Aligniergerätes ein Lasertheodolit, -nivellier oder -aligniergerät (Laserfluchtungsgerät). Die Ablesevorrichtung wird ersetzt durch einen Laserempfänger, der auf einen ferngesteuerten Messwagen montiert ist. Die Alignierlinie für den Lage- und Höhenbezug wird analog zum Verfahren mit dem Theodoliten durch den Laserstrahl erzeugt. Die Datenerfassung erfolgt im Laserempfänger, indem die Abweichungen des Laserstrahls vom Referenzpunkt (Sollpunkt) auf dem Laserempfänger elektronisch registriert werden. Diese können entweder im Laserempfänger gespeichert oder durch Datenfernübertragung zu einem Computer übermittelt werden. Wie beim klassischen Alignment mit einem Theodoliten (vgl. 6.1.1) wird die Spurweite bzw. das Spurmitenmaß in einem separaten Arbeitsgang ermittelt. Nach [23] kann bis zu Kranbahnlängen von 150 m eine Messunsicherheit von $\leq 0,5$ mm erreicht werden. Das Laseralignment wurde bereits in der ehemaligen DDR zu einem Kranbahnmesssystem „NIVEMAT 2003 K“ ausgebaut [24]. Die Fa. Mannesmann-DEMATIC hat als Hersteller von Krananlagen auf dieser Entwicklungsgrundlage als Dienstleistung für die Betreiber von Kranbahnen ein Lasermesssystem (LMS) [25] entwickelt. Bei diesem Messsystem werden auf den Anfängen und Enden der Kranbahnschienen Festpunkte vermarktet, die Strecken zwischen den Punkten mittels Laserentfernungsmesser genau bestimmt, so dass ein Bezugssystem für die Ermittlung des Spurmitenmaßes entsteht.

Das Kranbahmesssystem besteht aus einem Lasersender, der entlang einer Schiene für die Lage- und Höhenbezugslinie eines Laseralignements sorgt, und einem Laserempfänger, welcher auf einem ferngesteuerten Messwagen montiert ist und den empfangenen Laserstrahl direkt in Abweichungen von der Solllage umrechnet. Hiermit werden die Abweichungen bestimmt, welche für die Überprüfung der Einhaltung der Toleranzen B, b, C und c nach VDI 3576 – Entwurf notwendig sind (vgl. Abb. 2). Über eine Neigungsmesseinrichtung wird die Verkippung des Messwagens quer zur Schienenlängsachse abgetastet und gespeichert, womit die Toleranz G überprüft werden kann. Nach dem Befahren der zweiten Schiene können sämtliche für die Überprüfung der Einhaltung der Toleranzen A, B, b, C, c, E, F, G und H (vgl. Abb. 2) notwendigen Abweichungen am Bildschirm in graphischer oder numerischer Darstellung begutachtet werden.

Der DEMATIC-Vermessungsservice überprüft nicht nur die Schienengeometrie, sondern schätzt auch den gesamten baulichen Zustand der Kranbahn sowie die Funktionsfähigkeit des Kranes ein. Somit können bei Überschreitungen der Toleranzen Hinweise zur Wartung und Überholung der Krananlage gegeben werden [25].

6.2 Polar- und Tachymeterverfahren

Die Entwicklung von elektronischen Tachymetern mit Datenspeicherung, -übertragung und -verarbeitung ermöglicht es, auch das Polar- und Tachymeterverfahren für Kranbahnkontrollmessungen zu verwenden.

Voraussetzungen für die Anwendung des Polar- und Tachymeterverfahrens sind, dass

- die Messunsicherheit des Distanzmessers $\leq 3 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$ ist,
- die Messunsicherheit der Richtung- und Zenitdistanzmessung $\leq \text{ca. } 0,2 \text{ mgon}$ ist,
- Zielmarken verwendet werden, die an die jeweilige Schienenform

angepasst werden können, und dass

- mit geprüfem Instrumentarium gearbeitet wird.

Um die Genauigkeitsforderungen bei Kranbahnkontrollmessungen zu erfüllen, sollten wegen der systematischen Einflüsse auf die elektronische Entfernungsmessung die Strecken zu den Objektpunkten nicht unter 10 m und sie sollten – begründet in den Refraktionseinflüssen – nicht über 50 m betragen.

In [26] wurden die Instrumentenstandpunkte entweder auf die beiden Kranbahnschienen oder in deren unmittelbare Nähe gelegt. Von ihnen aus wurden die zu kontrollierenden Objektpunkte sowie die Instrumentenstandpunkte als Netz beobachtet und als freies Lagenetz ausgeglichen. Die Objektpunkte der Schiene werden mit einem Schlitten angefahren, auf dem ein Prisma befestigt ist. Der Schlitten ist mit einer Vorrichtung versehen, die das Andocken an eine Schienenbefestigungsschraube und somit das exakte Wiederauffinden eines Objektpunktes bei seiner erneuten Beobachtung ermöglicht. Aus der Netzausgleichung erhielt man eine Messunsicherheit in Querrichtung zur Kranbahnachse von $s_y \leq 1,0 \text{ mm}$ und in Längsrichtung von $s_x \leq 2,0 \text{ mm}$.

Eine andere Möglichkeit besteht darin, das Polarverfahren von freien Standpunkten aus anzuwenden [27]. Dazu wird ein dreidimensionales Festpunktnetz geschaffen, dessen Punkte bei der eigentlichen Kranbahnvermessung als Anschlusspunkte dienen. Die zu kontrollierenden Hochpunkte an den Schienen werden von geeigneten freien Standpunkten aus beobachtet, die zwischen den Kranschienen in der Ebene liegen. Auf jedem Standpunkt sind möglichst 5 Anschlusspunkte zu beobachten, und jeder Objektpunkt an den Schienen muss von 3 freien Standpunkten aus nach Lage und Höhe bestimmt werden. Zur Reduzierung der Einflüsse systematischer Streckenfehler werden zusätzliche Maßstabsbeobachtungen zu einem Vergleichsmeter durchgeführt. Für eine Kranbahn von 40 m x 300 m wurden 8 Festpunkte geschaffen und Kontroll-

messungen von 18 freien Standpunkten aus vorgenommen. Aus der Netzausgleichung erhielt man eine Messunsicherheit in Querrichtung zur Kranbahnachse von $s_y = 0,5 \text{ mm}$ und in Längsrichtung von $s_x = 2,2 \text{ mm}$. Für die Höhe der Objektpunkte erhielt man eine Genauigkeit von $s_h = 0,3 \text{ mm}$.

7 Geometrische Qualitätskontrolle von Kranbahnen durch Vermessungsbüros

Im Rahmen einer Fragebogenaktion wurde versucht, den Beitrag der Vermessungsbüros bei der geometrischen Qualitätssicherung von Kranbahnen abzuschätzen. Obwohl sich aus der Umfrage keine signifikanten Aussagen ableiten lassen, deuten sich doch einige Tendenzen an:

- (1) Weniger als die Hälfte der befragten Vermessungsbüros hat in den vergangenen 5 Jahren eine Kranbahn vermessen.
- (2) Die von den Vermessungsbüros ausgeführten Kranbahnmessungen waren zur Hälfte Abnahmevermessungen nach dem Neubau einer Anlage und die andere Hälfte Überwachungsvermessungen bei in Betrieb befindlichen Anlagen.
- (3) Bei der Vermessung der Kranbahnen wurden gleichermaßen das Polar- und das Alignierverfahren verwendet.
- (4) Die Genauigkeitsforderungen an die Kranbahnvermessungen wurden auf der Grundlage der verschiedenen Vorschriften und Normen, welche in Abb. 2 aufgeführt sind, vereinbart.

Bezüglich der Kosten einer Kranbahnkontrollvermessung lassen sich keine allgemeinen Aussagen treffen. Zu vielfältig sind Lage und Ausdehnung der Kranbahnen sowie die (Mess-) Bedingungen vor Ort. Trotzdem soll mit Hilfe zweier Beispiele versucht werden, die Größenordnung der Vermessungskosten abzuschätzen. Die Vermessungsleistungen lassen sich in folgende Teilleistungen gliedern:

- Vorbereitungsarbeiten für die geometrische Qualitätskontrolle

- Stationierung der Kontrollpunkte entlang der Kranbahnschienen
- Auswahl der Instrumentenstand- und Anschlusspunkte
- Aufbau und Abbau der Vermessungsinstrumente und -geräte
- Lage- und Höhenmessung der Kontrollpunkte
- Auswertung der Messung
- Aufbereitung und Übergabe der Messergebnisse

Unter Voraussetzung der einzuhaltenden Genauigkeiten nach E DIN 18710 – Teil 1 und einer ungehinderter Messung vor Ort können folgende Kosten abgeschätzt werden:

Beispiel 1:

Brückenkran (Länge 60 m, Spurweite 24 m, Schienen in 10 m Höhe, begehbar)

Die Kosten je ausgewerteter Kontrollpunkt betragen ca. 45,- DM. Für die gesamte Kranbahn mit ca. 60 Kontrollpunkten belaufen sich die Kosten somit auf ca. 2700,- DM.

Beispiel 2:

Portalkran (Länge 100 m, Spurweite 40 m, Schienen ebenerdig, begehbar)

Die Kosten je ausgewerteter Kontrollpunkt betragen ca. 30,- DM. Für die gesamte Kranbahn mit ca. 100 Kontrollpunkten belaufen sich die Kosten somit auf ca. 3000,- DM.

8 Schlussfolgerungen

- (1) Die aus den Herstellungstoleranzen abgeleiteten Messgenauigkeiten zur geometrischen Qualitätskontrolle von Kranbahnen lassen sich in der Praxis für einige Parameter nur mit äußerst großem vermessungstechnischen Aufwand realisieren.
- (2) Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, die Herstellungstoleranzen für Kranbahnen im Zusammenhang mit den Möglichkeiten ihres praktischen Nachweises zu überprüfen.
- (3) Die Festlegungen in der E DIN 18710 – Teil 1 sind geeignet, aus den Maßtoleranzen für die Herstellung von Kranbahnen differenzierte und für die Praxis entsprechend flexible Genauigkeitsforderungen für die geometrische Qualitätskontrolle von Kranbahnen abzuleiten.

- (4) Es existieren eine Reihe von geodätischen Messverfahren für Kranbahnkontrollvermessungen, die entsprechend der Art der Krane und Bedingungen eingesetzt werden können.
- (5) Die Vermessungsmethoden für die geometrische Qualitätskontrolle werden nicht ausschließlich durch die Genauigkeitsforderungen bestimmt, sondern zusätzlich durch die Art des Kranes und die Vermessungsbedingungen zum Zeitpunkt der Kontrollvermessung.
- (6) Die unklaren bzw. fehlenden Aussagen zur Notwendigkeit messtechnischer Kontrollen und die relativ geringe Anzahl von Kranbahnkontrollvermessungen durch die Vermessungsbüros lassen die Vermutung zu, dass die Anlagen nicht kontinuierlich vermessen werden.
- (7) Das qualitätswirksame Potenzial der Ingenieurvermessung wird nur unzureichend genutzt, um rechtzeitig die Wartungsarbeiten bezüglich der Geometrie vorzubereiten, die Stillstandszeiten der Krane zu reduzieren und die Nutzungsdauer der Anlage zu erhöhen.

Literatur

- [1] WOLFF, D.: Qualitätswirksame Potentiale der Ingenieurvermessung im Bauwesen. DVW-Schriftenreihe, Heft 36, Verlag Wittwer, Stuttgart 1999
- [2] DIN EN ISO 8402: Qualitätsmanagement-Begriffe; und Bbl. 1: Qualitätsmanagement-Anmerkungen zu Begriffen; Beuth Verlag, Berlin 1995
- [3] KLEIN, K.-H.; WOLFF, D.: Zur Ausgestaltung von Qualitätsmanagementsystemen im Bauwesen durch ingenieurgeodätisches Expertenwissen. AVN (1997) 8-9, S. 286–293
- [4] DIN 15001 – Blatt 1: Krane; Begriffe – Einteilung nach der Bauart, 11/1973

- [5] VBG 9: Unfallverhütungsvorschrift Krane mit den Durchführungsanweisungen. Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften, 01.01.1997
- [6] ZH 1/27: – Grundsätze für die Prüfung von Kranen. ZH 1 – Schriften, Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften, 10/1996
- [7] E DIN 18710-1: Ingenieurvermessung; Teil 1: Allgemeine Anforderungen, 10/1998, DIN-Taschenbuch 111 – Vermessungswesen, 6. Auflage 1998, Beuth Verlag
- [8] E DIN 18710-2: Ingenieurvermessung; Teil 2: Aufnahme, 10/2000
- [9] E DIN 18710-3: Ingenieurvermessung; Teil 3: Absteckung, 10/1999
- [10] E DIN 18710-4: Ingenieurvermessung; Teil 4: Überwachung, 1/1999
- [11] DIN 4132: Kranbahnen; Stahltragwerke – Grundsätze für Berechnung, bauliche Durchbildung und Ausführung, 2/1981
- [12] VDI 3576 – Entwurf: Schienen für Krananlagen – Schienenverbindungen, Schienenbefestigungen, Toleranzen, 10/1995
- [13] ISO 8306: Cranes; Overhead travelling cranes and portal bridge cranes – Tolerances for cranes and tracks, 12/1985
- [14] ENV 1993-6 – Entwurf: Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten, Teil 6 – Kranbahnen, 1999
- [15] DIN 18201: Toleranzen im Bauwesen. Begriffe, Grundsätze, Anwendung, Prüfung. 4/1997, DIN-Taschenbuch 111 – Vermessungswesen, 6. Auflage 1998, Beuth Verlag
- [16] DIN 15018 – Teil 1: Krane, Grundsätze für Stahltragwerke, Berechnung, 4/1974
- [17] VGB-R 631U: VGB-Richtlinie zur Prüfung von Krananlagen – Messtechnische Baubetreuung, Abnahme und Überwachung. VGB Technische Vereinigung der Großkraftwerksbetreiber e. V. Essen, Nachdruck 1991
- [18] DIN 1319-3: Grundlagen der Messtechnik, Teil 3: Auswertung von Messungen einer einzelnen Messgröße, Messunsicherheit, 5/1996. DIN-Taschenbuch 111 – Vermessungswesen, 6. Auflage 1998, Beuth Verlag

- [19] ...: Rationalisierung von Kranbahnkontrollmessungen an unbegehbaren Schienen durch den Einsatz von Kranbahnmesswagen. F/E-Bericht des Forschungszentrums VEB Kombinat Geodäsie und Kartographie, Leipzig 1978
- [20] ...: Schnelle und kostengünstige Kranbahn- und Bodenschienenvermessung mit dem vollautomatischen Lasermesssystem LMS. Prospekt der Mannesmann Dematic AG, Wetter 1998
- [21] HENNECKE, F.; WERNER, H.; MÜLLER, G.: Handbuch Ingenieurvermessung – Hochbau und Überwachungsmessung. Verlag Wichmann, Karlsruhe 1989
- [22] EIDAM, CH.: Simultane Messung der Spannweiten und Fluchtabweichungen von Kranbahnen. Vermessungstechnik, Berlin, 25. Jg. (1977) 4, S. 127–129
- [23] CADA, V.: Lasermesssysteme für Kranbahnen. 19. FIG-Kongress, Helsinki 1990, Band 6
- [24] Apel, P.; Küpper, W.: Automatisches Kranbahnschienenmesssystem NIVEMAT 2003K. Bauinformation Wissenschaft und Technik, Berlin, 37. Jg. (1989) 3, S. 52–55
- [25] ...: Dematic-Vermessungsservice. Prospekt Mannesmann Dematic, Wetter 1999
- [26] BENNING, W.; THEISSEN, R.: Polare Kranbahnvermessung im automatischen Datenfluß. Allgemeine Vermessungsnachrichten, Karlsruhe, 93. Jg. (1986) 7, S. 274–280
- [27] SHORTIS, M. R.; GANCI, G.: Aligment of Crane Rails using a Survey Network. Trans Tasman Surveyor, Canberra (1995) 1, S. 14–20

Anschrift der Verfasser:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. K.-H. KLEIN
Dipl.-Ing. H. SCHULZ
Bergische Universität Wuppertal
Pauluskirchstraße 7
42285 Wuppertal