

As-built-Anlagenvermessung in der chemischen Industrie

ALFRED MISCHKE & HANS-JOACHIM RIEKS, Leverkusen

Zusammenfassung: Die As-built-Anlagenvermessung, vollständig als As-built-Anlagendokumentation oder für Details in Form von Maßermittlungen, basiert insbesondere (noch) auf dem konventionellen Handaufmaß, zunehmend auch auf Industriemesssystemen und seit einiger Zeit auf der Photogrammetrie. Es werden die Einsatzbereiche dieser Messsysteme innerhalb der (chemischen) Industrie generell und anhand von ausgewählten Beispielen aus der Praxis präsentiert. Abschließend wird die besondere Bedeutung der Anlagen-Photogrammetrie für die nahe Zukunft aufgezeigt.

Summary: *As-Built-Measurements of Chemical Plants.* There are different methods of determining the co-ordinates of industrial gauges, such as as-built-documentation for whole machines or exact measurements of details. The differences between the manual measuring, the industrial measuring system based on theodolites and the close range photogrammetry are presented generally and explained by examples of the chemical industry. In this context the great meaning of the close range photogrammetry in the near future is outlined.

Vorbemerkungen

Die Kenntnis der Geometrie aller Anlagen innerhalb eines Werksgeländes ist seit jeher wesentliche Voraussetzung für sinnvolle Planungen. Während früher nahezu ausschließlich analoge Pläne (dies konnten auch Bauzeichnungen sein, deren plangemäße Realisierung in den seltensten Fällen überprüft wurde) für einzelne Industrieanlagen oder Anlagenteile ohne Bezug zu einem werkseinheitlichen Koordinatensystem vorgehalten wurden, sollen zukünftig von der ersten Planung bis zur jeweils aktuellen Situation vor Ort alle Zustände in einem einheitlichen System vollständig digital vorgehalten werden. Dies gewährleistet nicht nur eine optimale Nutzung vorhandener Ressourcen, sondern schafft auch die Voraussetzung für die Berücksichtigung der ständig wachsenden Ansprüche aus den Bereichen Responsible Care, Facility Management, Qualitätsmanagement und Qualitätssicherung, da jederzeit und über on-line Zugriffe innerhalb eines Computernetzwerkes an jedem Ort alle Informationen über die Anlage vorliegen und

unmittelbar genutzt, aber auch überprüft werden können.

Die gestiegenen Anforderungen erfordern moderne Messtechniken. Bei der Bayer AG werden hierfür neben ausgereiften Industriemesssystemen auch neue Techniken der Nahbereichsphotogrammetrie eingesetzt, wobei der bidirektionale Datenfluss zwischen Planung (Soll-Zustand) und Messung (Ist-Zustand) berücksichtigt wird. Gezeigt werden im Folgenden die Möglichkeiten dieser Messtechniken für die 3D-Geometriebestimmung von Industrieanlagen.

Einsatzbereiche der As-built-Anlagenvermessung

Die As-built-Anlagenvermessung wird generell in zwei Bereiche unterschieden:

Die As-built-Anlagendokumentation, bei der die Geometriebestimmung für die (digitale) Dokumentation von Industrieanlagen genutzt wird und die Maßermittlung, die der hochgenauen Ermittlung von Maßen einzelner Anlagen- und Bauteile (verschiedener Größe) dient.

As-built-Anlagendokumentation

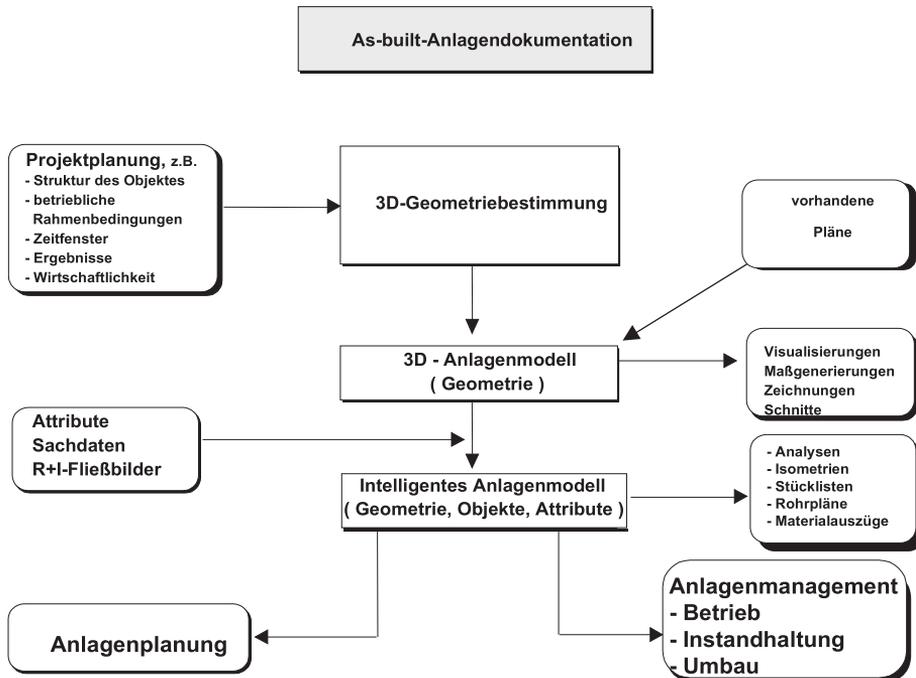


Abb. 1: As-built-Anlagendokumentation.

In einer As-built-Anlagendokumentation können theoretisch alle Parameter einer Anlage, d. h. neben der Geometrie auch Attribute über Zustand, Leistung, Alter usw., im Ist-Zustand dargestellt werden. Auf Grund einer Projektplanung müssen hieraus die jeweils relevanten Parameter ermittelt werden, wobei in diese Projektplanung unter anderem Faktoren wie die Anlagenstruktur, betriebliche und wirtschaftliche Rahmenbedingungen sowie der Zeitraum für die Realisierung der Dokumentation eingehen.

Die Basis der As-built-Anlagendokumentation bildet immer die (dreidimensional) ermittelte Geometrie der Anlage. Diese grundlegenden Informationen über die Industrieanlagen stellen einen erheblichen Wert dar, der immer noch vielfach unterschätzt wird. Um die ermittelten Daten möglichst langfristig universell einsetzen zu können, sollten Anlagen nicht in einem lokalen, d. h. anlagen- oder bauteilebezoge-

nen System vermessen werden, sondern in einem Werkssystem oder einem werksübergordneten System, z. B. dem deutschlandweit gültigen Gauß-Krüger-Koordinatensystem oder dem dreidimensionalen, weltweit einheitlichen World-Geodetic-System 84 (WGS 84).

Die Anlagendokumentation muss nicht zwangsläufig in einem Schritt erfolgen, sondern kann bedarfsweise aufgebaut werden. Hierbei ist sowohl eine Unterteilung in einzelne Abschnitte der Anlage möglich als auch eine bedarfsweise differenzierte Detaillierung. So könnten in unterschiedlichen Zyklen der Stahlbau, die Apparate, die Behälter, die Rohrleitungen und die Armaturen erfasst werden.

Zur Verfeinerung der über Messungen bestimmten Geometriedaten lassen sich oft vorhandene Pläne integrieren, woraus ein vollständiges geometrisches Anlagenmodell entsteht. Dieses Modell ist bereits vielseitig

nutzbar. Es lassen sich Visualisierungen, Maße, Zeichnungen, Schnitte usw. ableiten, d.h. dass das reine Geometriemodell schon erheblich weitreichendere Nutzungen erlaubt, als konventionelle, analoge Pläne.

Eine Erweiterung des Anlagenmodells um Attribute, Sachdaten, F + I-Fließbilder usw. führt zu einem intelligenten Anlagenmodell. In anderen Bereichen spricht man bei einer Kombination von Grundlagendaten (der Vermessung) und Fachdaten (der Betriebe) von Expertensystemen.

Für die Nutzung von intelligenten Anlagensystemen bzw. intelligenten As-built-Anlagendokumentationen lassen sich diverse Anwendungsbereiche denken: Durchführung von Analysen, Erstellung von Isometrien und Jobkarten, Generierung von Rohrplänen, Grundlage für Optimierungsüberlegungen in der Anordnung von Anlagenbauteilen usw.

Neben dem Nutzen der Modelle zum Anlagenmanagement können sie selbstverständlich auch unmittelbar als Grundlage für neue Anlagenplanungen herangezogen werden.

Maßermittlung

Die Maßermittlung zielt im Gegensatz zur As-built-Anlagendokumentation nicht auf eine vollständige geometrische Erfassung einer Industrieanlage ab, sondern auf die präzise Bestimmung der Geometrie einzelner Bauteile (Apparate, Rohrleitungen, Flansche usw.) oder sogar nur einzelner Anschlusspunkte.

Je nach Anforderung werden Genauigkeiten bis in den Submillimeter-Bereich geliefert. Typische Anwendungen sind die Vorbereitung der maßgenauen Vorfertigung von Bauteilen für deren passgenauen Austausch, die geometrische Fertigungskontrolle, Überwachungs- und Deformationsmessungen (z.B. Kalt-Warm-Deformationen oder Lastwechsel) oder Setzungsmessungen von Fundamenten.

In der Regel müssen die Koordinaten nur in einem lokalen, auf das Bauteil bezogenen Koordinatensystem ermittelt werden. Maßermittlungen erfolgen immer streng be-

darfsbezogen und sind generell nur für die unmittelbar geforderte Aufgabe verwendbar.

Theoretisch wären die Genauigkeiten der Maßermittlung auch im As-built-Anlagenmodell realisierbar, dies ist jedoch aus wirtschaftlichen Erwägungen unpraktikabel.

Messsysteme zur 3D-Geometriebestimmung

Neben Messsystemen, die speziell für besondere Anwendungen entwickelt wurden, gibt es drei universell einsetzbare Systeme zur 3D-Geometriebestimmung:

- Handaufmaß
- Industriemesssystem
- (Nahbereichs-)Photogrammetrie

Die einzelnen Verfahren können sowohl konkurrierend als auch in Kombination eingesetzt werden. Ausschlaggebend sind u.a. die geforderte Genauigkeit, die Qualität der Ergebnisse, die Anlagenstruktur, der Messumfang sowie die Kosten der Messung.

Handaufmaß

Das Handaufmaß stellt das bisher genutzte und am weitesten verbreitete Messverfahren dar. Es werden mit einfachen Hilfsmitteln (Zollstock, handgehaltener, berührungslöser Entfernungsmesser, Schieblehre) Spanmaße zwischen Anlagenpunkten gemessen.

Das Handaufmaß eignet sich hervorragend zur Bestimmung einzelner Maße mit untergeordneter Genauigkeit, zur groben Kontrolle der aus Zeichnungen vorgegebenen Maße und zur Messung von visuell schwer zugänglichen Objekten (z. B. innere Leitungen auf Rohrleitungsbrücken).

Da beim Handaufmaß nur Strecken, aber keine räumlichen Koordinaten gemessen werden können, eignet es sich nicht bzw. nur unzureichend zur vollständigen As-built-Anlagendokumentation. Ebenso ist es schwierig, Messungen mit hoher Genauigkeit und homogener Qualität im gesamten Messbereich durchführen zu können. Die Ergebnisse werden den heutigen Standards der Qualitätssicherung nicht immer gerecht, da sich einerseits die Messung nicht unmit-

telbar durch überbestimmte Messelemente kontrolliert und andererseits kein automatischer Datenfluss von der Messung bis zum gewünschten „Produkt“ (digitaler Plan, Tabelle in einem vorgegebenen Datenformat usw.) möglich ist.

Industriemesssystem

Industriemesssysteme, auch unter den Namen Theodolitmesssystem oder Tachymetrie bekannt, sind seit vielen Jahrzehnten bei hochgenauen Messungen im Industriebereich im Einsatz. Sie basieren entweder ausschließlich auf Winkelmessungen oder auf kombinierten Winkel- und Streckenmessungen zu den Objekten/Objektpunkten.

Die Nachbildung der Objektgeometrie muss im Anschluss an die Messung durch Verbinden der gemessenen und berechneten Punkte erfolgen, wobei vorgegebene Geometrien integriert werden können (z. B. 3D-Modelle von Apparaten oder Leitungsquerschnitte).

Die Einschränkungen des Verfahrens gegenüber der Photogrammetrie (feste Standpunkte, längere Verweildauer in der Anlage, punktuelle statt vollständiger Objekterfassung etc.) sind hinreichend bekannt und sollen hier deshalb nicht weiter vertieft werden.

Nahbereichsphotogrammetrie

Die Nahbereichsphotogrammetrie (im Folgenden nur noch kurz Photogrammetrie genannt) ist im Bereich der Anlagenvermessung das „aktuellste“ Verfahren; es ermöglicht eine vollständige, berührungslose Objekterfassung. Da die Auswertung der Messung erst nachträglich „in house“ erfolgt, werden einerseits die Verweilzeiten vor Ort minimiert und andererseits kann noch im Rahmen der Auswertung festgelegt werden, welche Objekte gemessen werden sollen. Dadurch ist es auch zu späteren Zeitpunkten noch möglich, weitere Details zu vermessen, ohne erneut in die Anlage gehen zu müssen; gewissermaßen „holt man sich die Anlage ins Büro“.

Vor Ort ist außer der Durchführung der photogrammetrischen Aufnahmen ein An-

lagenkoordinatensystem festzulegen, welches durch Signalisierungspunkte zu fixieren ist. Diese Schritte sind i. d. R. nicht zeitkritisch, erfordern jedoch einige Erfahrung. Im Büro werden verschiedene „Produkte“ erzeugt.

Nach der Orientierung der Messbilder steht bereits eine vollständige Fotodokumentation zur Verfügung, die für Visualisierungen und Simulationen genutzt werden kann.

Die Auswertung der Messbilder erfolgt punkt- oder linienweise, als Ergebnis stehen Punkte, Objektkanten und fertige Zylinder zur Verfügung. Hieraus lassen sich 3D-CAE-Modelle generieren. In einem gewissen Umfang können bereits Attribute erfasst werden, die zu intelligenten Anlagenmodellen führen.

Die Photogrammetrie stellt das umfassendste der genannten Verfahren zur Geometriebestimmung von Anlagen dar. Einerseits kann mit ihr ein effektiver Situationsvergleich von Soll- und Ist-Zustand erfolgen, andererseits kann eine vollständige, detaillierte Anlagendokumentation ohne Vorkenntnisse (Modelle, Pläne etc.) erstellt werden. Vor Ort sind der Messaufwand und die damit verbundenen Störungen des Betriebsablaufs minimal.

Aufwändiger gestaltet sich die Auswertung im Büro. Hier muss von Fall zu Fall entschieden werden, ob Aufwand und die damit verbundenen Kosten mit den Vorteilen und der hohen Qualität der Ergebnisse in einer vertretbaren Relation stehen.

Einsatz der Messsysteme

Während der Anwender (z. B. Betriebsleiter/-ingenieur) definieren muss, welche Ergebnisse (Störkantenmodelle, Detailvermessungen, Einzelmaßkontrollen, Situationsvergleiche etc.) er benötigt und wie diese dargestellt werden sollen, legt der Vermessungsexperte fest, welches das geeignete Messverfahren ist. Je nach Aufgabenstellung sind auch Kombinationen diverser Verfahren sinnvoll. Anhand von drei ausgewählten Beispielen soll dies verdeutlicht werden.

Industriemesssystem: „3D-Vermessung eines Anlagenteils“

Für Umbaumaßnahmen eines Produktionsbetriebes sollte überprüft werden, ob bei drei Bauteilen, an denen neue Anschlüsse zu installieren waren, die Sollkoordinaten aus den Bauplänen mit dem Ist-Stand übereinstimmen. Abweichungen im Zentimeterbereich konnten hierbei toleriert werden, größere Abweichungen hätten die Umbaumaßnahmen erheblich verzögert.

Die Messungen wurden mit einem Industriemesssystem durchgeführt. Ausschlaggebend waren mehrere Faktoren, insbesondere:

- Alle relevanten Punkte konnten von gut zugänglichen, vibrationsfreien Standpunkten aus erfasst werden.
- Es mussten nur wenige Punkte je Bauteil gemessen werden, da deren Geometrie digital vorlag und nur die räumliche Orientierung zu überprüfen war.
- Die Messung vor Ort war nicht zeitkritisch.

Die festgestellten Abweichungen in den Koordinaten führten dazu, die Planung

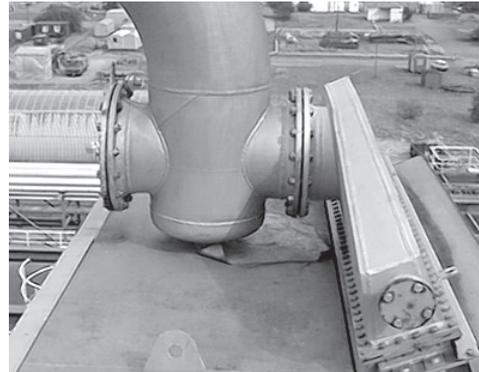


Abb. 2: Aufnahme des zu überprüfenden Anlagenteils.

noch rechtzeitig an den Ist-Stand anpassen zu können, wodurch erheblich finanzielle und zeitliche Einsparungen möglich wurden.

Die Messung verlief problemlos, zuverlässig und kostengünstig. Das Ergebnis konnte unmittelbar in das vorhandene Anlagenmodell überführt werden.

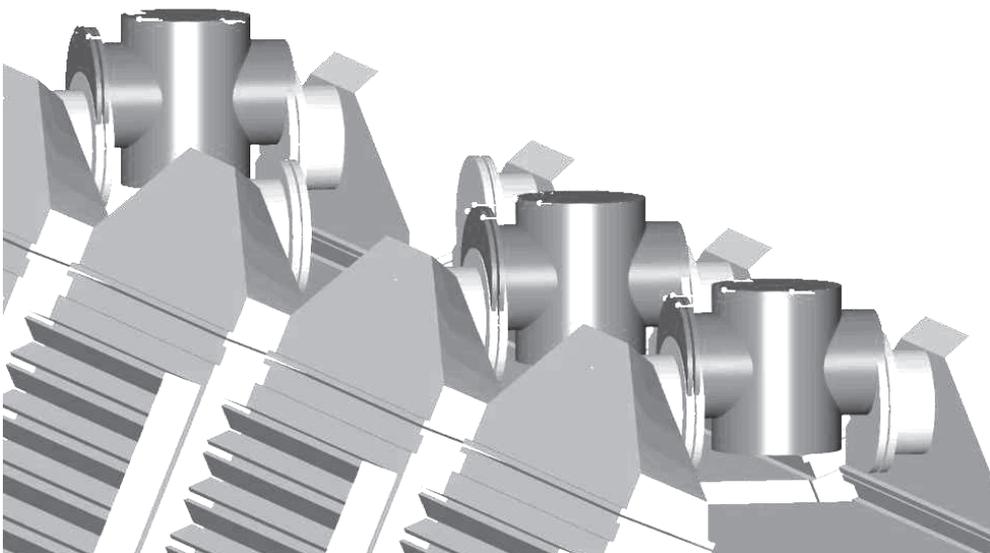


Abb. 3: Fertiges Modell der überprüften Anlagenteile.

Kombination von Photogrammetrie und Tachymetrie: „As-built-Anlagendokumentation einer Produktionsanlage“

In einer Produktionsanlage mussten für weitere Projektplanungen Freiräume ermittelt werden (Kollisionsprüfungen). Die Ausdehnung des zu dokumentierenden Objektes betrug $15\text{ m} \times 5\text{ m} \times 10\text{ m}$, verteilt auf zwei Ebenen.

Es sollten neben der Stahlkonstruktion alle Behälter und die Rohrleitungen größer/gleich 30 mm Durchmesser erfasst werden. Eine spätere Erfassung von Rohrleitungen mit kleinerem Durchmesser sollte mit geringem Aufwand möglich sein.

Die Vorgaben führten zur Bearbeitung mit einem kombinierten Verfahren aus Photogrammetrie und Tachymetrie. Der Stahlbau wurde tachymetrisch erfasst, wobei gleichzeitig die photogrammetrischen Passpunkte für die Orientierung der Aufnahmen gemessen wurden. Zur Vermessung der Anlage war es erforderlich ca. 120 Aufnahmen anzufertigen. Es wurde darauf geachtet, dass auch die Rohre mit einem Durchmesser kleiner 30 mm in den Bildern erkennbar sind. Hierdurch konnte sichergestellt wer-

den, dass eine nachträgliche Ermittlung von deren Geometrie ohne erneute Messungen vor Ort realisierbar blieb.

Im Ergebnis lag ein dreidimensionales Anlagenmodell vor.

Photogrammetrie: „Maßermittlung zum Austausch von Zentrifugendeckeln“

Zwei Zentrifugendeckel, für die keine Sollgeometrien vorlagen, sollten ausgetauscht werden. Gefordert waren die räumlichen Koordinaten der Anschlussflanschen mit einer Genauigkeit von $\pm 1/10\text{ mm}$ und der Anbauteile der Zentrifugendeckel mit einer Genauigkeit von $\pm 1\text{ mm}$. Als weitere Restriktion galt es, die Messung vor Ort, bei der die Anbauteile von den Zentrifugendeckeln entfernt werden mussten, aus betrieblichen Gründen schnellstmöglich durchzuführen.

Diese Rahmenbedingungen ließen ausschließlich eine photogrammetrische Vermessung praktikabel und wirtschaftlich erscheinen.

Aus den 25 Aufnahmen je Zentrifugendeckel wurden die Ergebnisse in Form von

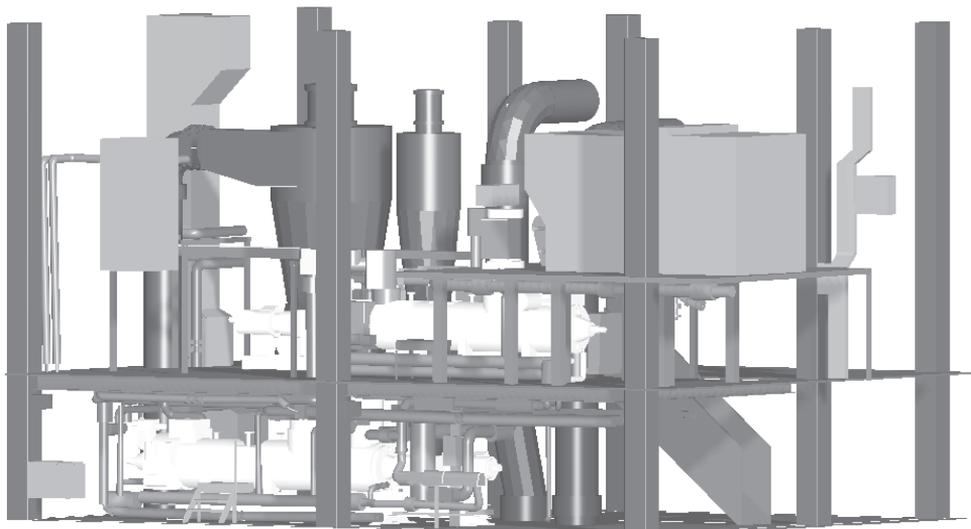


Abb. 4: Fertiges Anlagenmodell.

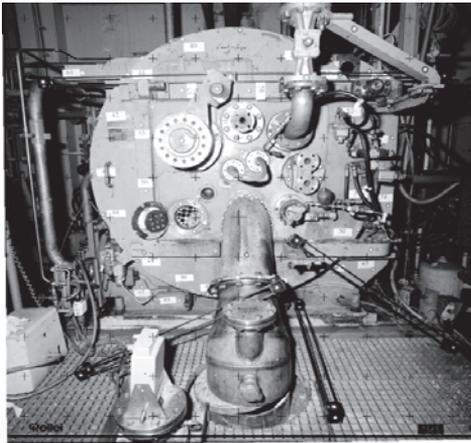


Abb. 5: Messbild Zentrifugendeckel.

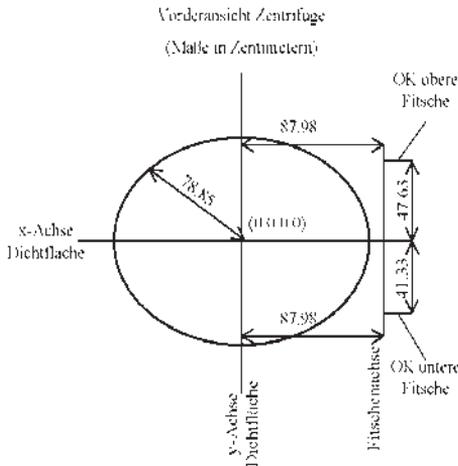


Abb. 6: Isometrische Darstellung des Zentrifugendeckels.

Listen und isometrischen Zeichnungen abgeleitet.

Alle gestellten Anforderungen konnten mit dem gewählten Verfahren technisch sachgerecht und kostengünstig erfüllt werden.

Bedarfsgerechte Aktualisierung vorhandener Anlagenmodelle

Eine interessante Nutzung der Photogrammetrie ergibt sich bei der bedarfsgerechten Aktualisierung vorhandener Anlagenmo-

delle. Häufig tritt der Fall ein, dass von einer Anlage ein 3D-Modell vorhanden ist, wobei nicht feststeht, in wie weit dieses vom Ist-Stand abweicht. Um für Planungen festzustellen, wo Abweichungen vorkommen, muss konventionell jedes relevante Anlagenteil durch Koordinatenmessung oder Messung von Kontrollmaßen auf seine Lagerichtigkeit überprüft werden.

Photogrammetrisch ergibt sich ein neues Verfahren. Die Anlage wird fotografiert und die gemachten Aufnahmen werden orientiert, so dass eine Fotodokumentation der Anlage zur Verfügung steht. Diese Fotodokumentation und das vorliegende Anlagenmodell werden überblendet (Superimposition); ein visueller Vergleich zeigt unmittelbar, wo Soll- und Ist-Stand voneinander abweichen.

Geometrische Auswertungen brauchen in den Fotos nur in diesen Bereichen durchgeführt zu werden; die Ergebnisse können dann wieder unmittelbar zur Korrektur des Anlagenmodells genutzt werden. Die Messung beschränkt sich demnach ausschließlich auf die Bereiche, in denen tatsächlich Veränderungen aufgetreten sind.

Resümee

Bei der 3D-Geometriebestimmung von Industrieanlagen sind verschiedene Messverfahren im Einsatz. Diese können additiv oder exklusiv für die optimale Bewältigung einer bestimmten Aufgabenstellung zum Einsatz kommen.

Der Auftraggeber, meist der Betreiber einer Anlage, der Unterlagen für Planungen o.Ä. benötigt, kann die Entscheidung über das im Einzelfall ideale Verfahren in der Regel nicht ohne das fachliche Know-how des Vermessungsexperten treffen, da zu viele Faktoren auf diese Entscheidung Einfluss haben.

Der „Vermesser“ weiß ohne die fachlichen Vorgaben des Auftraggebers u.A. nicht, welches die wesentlichen Parameter der Anlage sind und welche Genauigkeiten für die Planungen benötigt werden.

Nur eine enge Zusammenarbeit aller Fachdisziplinen bringt eine hohe Effizienz. Verbesserungspotenzial bei der Anlagendo-



Abb. 7: Superimposition von Anlagenmodell und Messbild vor und nach Ergänzung des fehlenden Zylinders.

kumentation liegt insbesondere in den Bereichen, in denen Bauteile mit fest definierten Größen (z. B. genormte Maße auf Grund von DIN-Vorgaben) integriert sind. Sofern die Geometrie dieser Bauteile in einem 3D-Modell gespeichert wird, lässt sich die Anlage durch die Messung weniger Kontrollpunkte dokumentieren. Die Modellierung erfolgt dann sozusagen im Baukastenverfahren.

Gerade im Bereich der Rohrleitungsvermessung und -dokumentation, wo in der Regel Durchmesser der Rohre, Maße der Anschlussflansche usw. standardisiert sind, können photogrammetrische Verfahren (ggf. in Kombination mit anderen Messverfahren) durch Mittel der Superimposition zu Kosteneinsparungen bei einer einhergehenden erheblichen Qualitätsverbesserung der Ergebnisse führen.

Weitere Literatur zum Thema

- GOTTWALD, R. & NYFELER, P., 1996: Produktivitätssteigerung und Kostenoptimierung im technischen Anlagenbau durch konsequenten Einsatz von Polarmesssystemen. – Internationaler Kurs für Ingenieurvermessung, Graz 1996: Tagungsband 1, Seite A1/1–A1/12, Dümmler Verlag, Bonn.
- HILGERS, G., 1997: As-built-Erfassung im Anlagenbau. Von der Aufnahme zum 3D-CAD-Modell am Beispiel einer Heizungsanlage. – Diplomarbeit (unveröffentlicht), UGH Essen.
- HILGERS, G. & WOYTOWICZ, D., 1999: Ein System zur photogrammetrischen As-built-Erfassung im Anlagenbau. – DGPF-Jahrestagung Band 7, München.
- MISCHKE, A. & RIEKS, H.-J., 1999: Photogrammetrie und Industriemesssysteme zur As-built-Anlagenvermessung. – 3R internat. 1999 (9).
- PRZYBILLA, H.-J., 1991: Anlagenüberwachung mit Mitteln der Photogrammetrie. – Der Vermessungsingenieur. 1991 (3).
- PRZYBILLA, H.-J., 1997: Digitale Photogrammetrie in der Ingenieurvermessung. – VR 59/4. 1997 (Juni).
- RIEKS, H.-J., 1999: 3D-Geometriebestimmung in Industrieanlagen – As-built-Anlagendokumentation. – VGB Kraftwerkstechnik, 1999 (6).
- Technische Vereinigung der Großkraftwerksbetreiber (VGB), 1999: 3D-Geometriebestimmung in Industrieanlagen – As-built Anlagen-dokumentation. – VGB-Merkblatt M 637 U, VGB-Kraftwerkstechnik GmbH, Essen.
- Verband Deutscher Vermessungsingenieure e. V., 1996: Photogrammetrische Messtechnik in der Ingenieurvermessung. – VDV-Schriftenr., 1996 (12), Verlag Chmielorz GmbH, Wiesbaden.

Anschrift der Verfasser:

Dr. ALFRED MISCHKE, Bayer AG
Standortplanung; Erschließung, Dokumentation,
Geb. K9; D-51368 Leverkusen
Tel.: 02 14-30/6 1440, Fax: 02 14-30/2 46 44
e-mail: alfred.mischke.am@bayer-ag.de
Dipl.-Ing. HANS-JOACHIM RIEKS
Bayer AG, Leitung Standortplanung,
Erschließung, Dokumentation, Geb. K9
D-51368 Leverkusen
Tel.: 02 14-30/6 58 51, Fax: 02 14-30/2 46 44
hans-joachim.rieks.hr@bayer-ag.de

Manuskript eingegangen: Juli 2000

Angenommen: August 2000