

Vermessung der Form und Lage eines Stahlkonverters

B. Pollak¹ / K. Foppe² / O. Heunecke² / V. Schwieger²

- 1 Institut für Photogrammetrie und Ingenieurvermessungen, Universität Hannover, Nienburger Straße 1, D-30167 Hannover (pollak@ipi.uni-hannover.de)
- 2 Geodätisches Institut, Universität Hannover, Nienburger Straße 1, D-30167 Hannover (foppe@gih.uni-hannover.de)

Zusammenfassung

Die für die Herstellung von Stahl verwendeten Konvertergefäße erleiden während ihrer langjährigen Betriebszeit allmählich Verformungen, die zu einer Einschränkung der Funktionstüchtigkeit oder zu schwerwiegenden Störfällen führen können. Das Ziel einer gemeinsamen geodätischen und photogrammetrischen Vermessung war es, solche Deformationen zu ermitteln und sie mit den umgebenden Tragelementen des Konverters in Verbindung zu bringen. Auf diese Weise konnten kritische Bereiche lokalisiert werden.

Problemstellung

Ein Stahlkonverter hat die Aufgabe, das im Hochofen gewonnene Roheisen durch das Einblasen von Sauerstoff von überschüssigem Kohlenstoff und anderen Verunreinigungen zu befreien und diverse Veredelungsstoffe einzubringen. Das birnenförmige Gefäß ist im vorliegenden Fall etwa 10 m hoch, hat einen maximalen Durchmesser von ca. 7 m und faßt bis zu 400 t flüssiges Eisen. Es besteht aus einer 7 cm starken Stahlwand, die innen mit einer hitzebeständigen Ausmauerung verkleidet ist. Das obere Ende ist offen und dient der Befüllung mit Roheisen und Zusätzen. Der Boden kann für Wartungszwecke – insbesondere der Erneuerung der Ausmauerung – geöffnet werden. Die Lagerung, die eine Kippung des Konverters ermöglicht, wird durch einen in einem Drehgelenk gelagerten Tragring ermöglicht, in dem das Gefäß mit Hilfe sogenannter Pratten fixiert ist. Zwischen der Innenfläche des Tragringes und der Außenfläche des



Abb. 1: Stahlkonverter

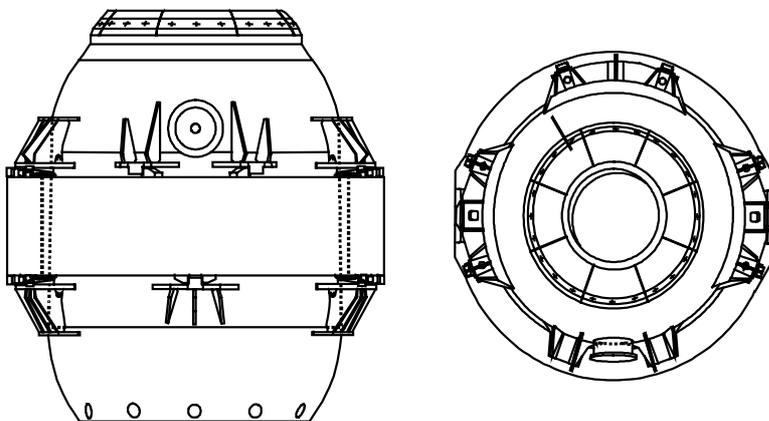


Abb. 2 : Konstruktionszeichnung

ermöglicht, wird durch einen in einem Drehgelenk gelagerten Tragring ermöglicht, in dem das Gefäß mit Hilfe sogenannter Pratten fixiert ist. Zwischen der Innenfläche des Tragringes und der Außenfläche des Konverters befindet sich ein für die Kühlung notwendiger Luftspalt, der konstruktiv eine Breite von 15 cm besitzt. Durch die mechanische Belastung, hervorgerufen durch die Befüllung bei hohen Temperaturen bis zu 3000° C, entstehen im Bereich des Tragringes Deformationen der Gefäßwand, die den Luftspalt soweit verkleinern können (hier noch ca. 3 cm Restspalt),

daß die kühlende Wirkung nicht mehr ausreicht, um ein Durchbrennen zu verhindern.

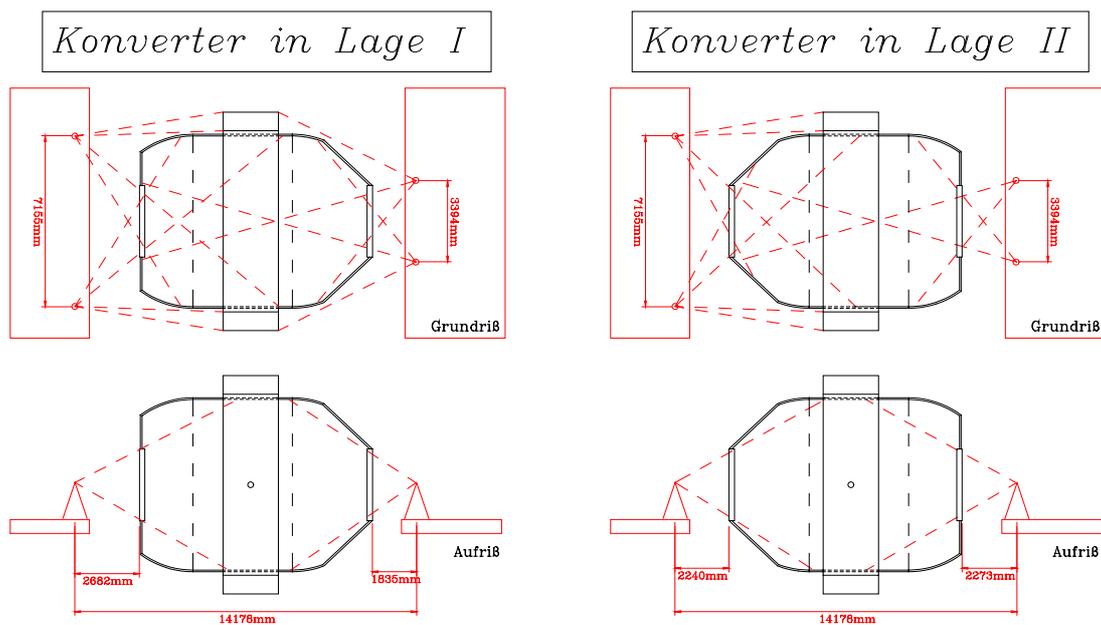
Eine mögliche Behebung des Problems besteht in der Reparatur der kritischen Stellen durch den Austausch von Wandteilen. Um den Aufwand dabei in Grenzen zu halten, muß deren Lage in Bezug auf den umgebenden Tragrings möglichst genau bekannt sein. Eine Standardabweichung von $< \pm 5 \text{ mm}$ in den Koordinatenkomponenten erscheint als Meßziel sinnvoll. Dazu muß die aktuelle Außenform des Konverters sowie die Abmessungen des Tragrings bestimmt und miteinander in Verbindung gebracht werden. Eine zusätzliche Schwierigkeit ist durch die Tatsache gegeben, daß die Gefäßwand von außen nicht flächendeckend erfaßt werden kann, weil sowohl der Tragrings als auch zusätzliche Verkleidungen die freie Sicht behindern. Eine weitere wichtige Randbedingung ist gegeben durch die hohen Produktionsausfallkosten im Falle des Stillstands eines Konverters. Eine möglichst kurze Aufnahmezeit für alle Meßelemente ist daher geboten.

Meßaufgabe

Es handelt sich hierbei um eine zweiteilige Aufgabenstellung: Die Formbestimmung des Konverters selbst, die hier photogrammetrisch erfolgt, kann zunächst logisch getrennt werden von den geodätischen Messungen, die ein lokales Koordinatensystem bereitstellen, sowie alle Elemente außerhalb des Gefäßes (Tragrings, Achslagen, ...) bestimmen und Paßpunkte innerhalb des Konverters für die Photogrammetrie bereitstellen.

Geodätische Vermessungen

In der Umgebung des Konverters wurden an tragenden Elementen der Werkshalle 13 Referenzpunkte vermarktet. Von fünf Standpunkten aus, deren optimale Positionen in Simu-



Foppo, 14.08.97

Abb. 3 : Meßanordnung bei der Paßpunktbestimmung

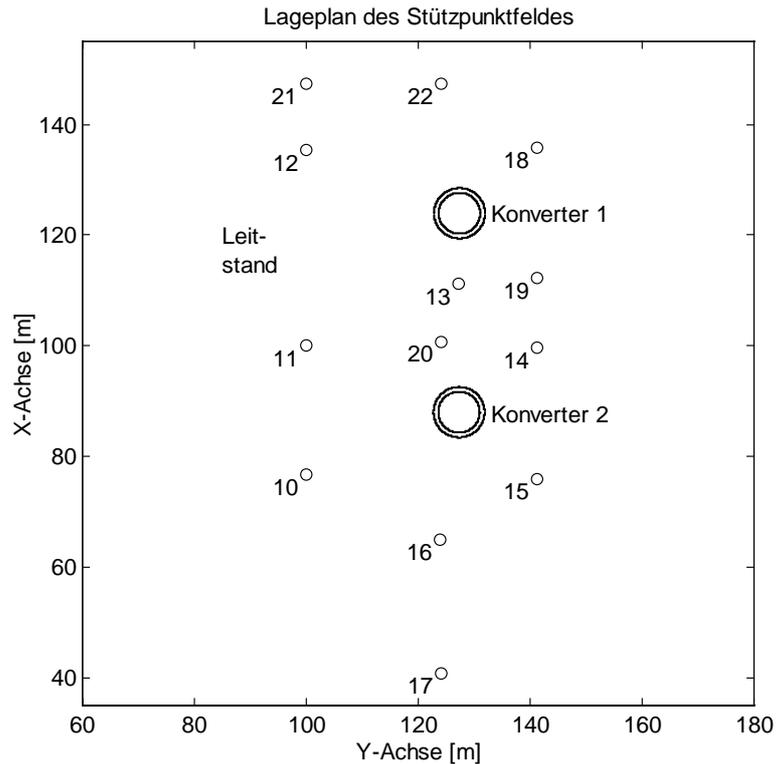


Abb. 4 : Stützpunktfeld des lokalen Koordinatensystems

lationsrechnungen ermittelt wurden, fanden simultane tachymetrische Messungen zu den Referenzpunkten, zu Punkten außen auf dem Konverter bzw. Tragring und zu den photogrammetrischen Paßpunkten im Inneren des Gefäßes statt. Es wurden zwei Zeiss ELTA 13 CM und drei Geodimeter 422 eingesetzt. Letztere ermöglichten eine sichere elektro-optische Distanzmessung zu den eingesetzten Retroreflexfolien und erhöhten dadurch die Anzahl der Bestimmungselemente der Konfiguration.

Die Ausgleichung aller geodätischen Beobachtungen erfolgte wie auch schon die Simulationsrechnungen mit dem Programm HANNA (GIH). Die Standardabweichung der Koordinatenkomponenten s_x , s_y , s_z wurde mit $\pm 1,5$ mm abgeschätzt.

Mit Hilfe von insgesamt 16 Stützpunkten wurde auf der Grundlage einer gleichmäßigen geometrischen Form ein Modell (DOM) des Tragringes gerechnet, zu dessen Innenfläche später die photogrammetrisch ermittelte Lage der Konverteraußenwand in Beziehung gesetzt wurde.

Photogrammetrische Formbestimmung

Konfiguration

Die einfachste Möglichkeit, eine Kamera innerhalb des Converters zu positionieren, war durch Verwendung des sogenannten Ausmauerungsgerätes gegeben, einer Arbeitsbühne mit 4 m Durchmesser, die bei vertikaler Ausrichtung des Gefäßes von unten auf jede beliebige Höhe hineingefahren werden konnte. Sowohl aus organisatorischer als auch aus

photogrammetrischer Sicht ergab sich eine optimale Kameraaufstellung genau in der Bühnenmitte, von der aus die Bilder sternförmig mit ca. 40 % Überdeckung aufgenommen wurden. Dies geschah in 9 Ebenen mit jeweils 8 Bildern, wobei die erforderlichen Basislängen durch die Abstände zwischen den Ebenen, also vertikal angeordnet, gegeben waren (Längsüberdeckung ca. 60-70 %).

Es wurde eine Rollei 6006 metric mit Zeiss Distagon 1:4 / 40 mm verwendet, die aus Geschwindigkeitsgründen zusätzlich mit einem 70 mm Langfilmmagazin ausgestattet war. Zwei Scheinwerfer mit zusammen 2 kW Leistung wurden mit der Kamera gekoppelt. Eine spezielle Vorrichtung ermöglichte eine schnelle Einstellung der Aufnahme­richtung.

Die 19 geodätisch eingemessenen Paßpunkte bestanden aus retroreflektierenden Zielmarken, angeordnet in zwei Ringen mit ca. 1 m Abstand auf der Höhe des Tragringes. Es wurden zusätzlich auf die Konverterwand einfache Verknüpfungspunktsignale (Farbtupfer) in einem regelmäßigen Raster mit einer Weite von ca. 80 cm angebracht, um die Punktzuordnung bei der späteren Bildmessung zu erleichtern.

Die Aufnahme (mit Ausnahme Signalisierungsarbeiten) konnte in weniger als 1,5 Stunden durchgeführt werden.

Auswertung

Die Bildmessungen wurden mit dem analytischen Auswertegerät Zeiss Planicomp P1 durchgeführt. Alle Paß-, Verknüpfungs- und Objektpunkte wurden in einem Arbeitsgang vollständig erfaßt und anschließend gemeinsam ausgeglichen. Versuche, die Reséau-Bilder der Rollei nach der Ermittlung der Orientierungen mittels einer Blockausgleichung weniger ausgewählter Verknüpfungspunkte im Stereo-Modus zu vermessen, haben sich nicht bewährt. Die Blockausgleichung wurde mit dem Programm BLUH (IPI, Jacobsen) durchgeführt. Das Problem der Bestimmung von Näherungskoodinaten dieser großen Anzahl von Objektpunkten konnte mit dem Zusatzprogramm BLOR gelöst werden, nachdem der Block in mehrere Streifen unterteilt wurde, welche dann nach räumlichen Drehungen quasi als Luftbildfall behandelt werden konnten. Die nicht besonders hohe Genauigkeit der Gewichtseinheit $\sigma_0 = 16 \mu\text{m}$ ist auf Einflüsse der Kamera und auf die wenigen und ungünstig verteilten Paßpunkte zurückzuführen. Aufgrund des großen Bildmaßstabes ist jedoch eine ausreichende Genauigkeit der Objektpunkte $< \pm 4 \text{ mm}$ gewährleistet.

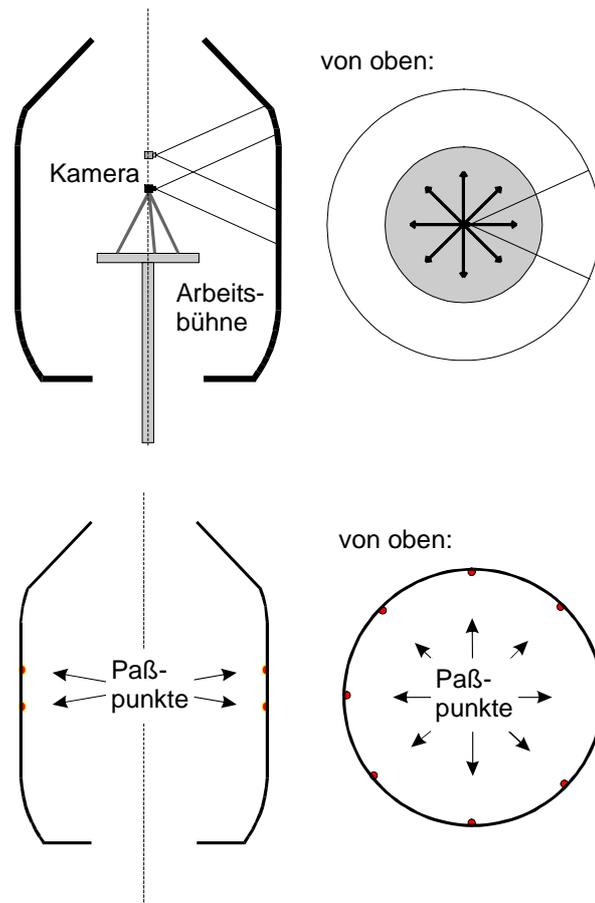
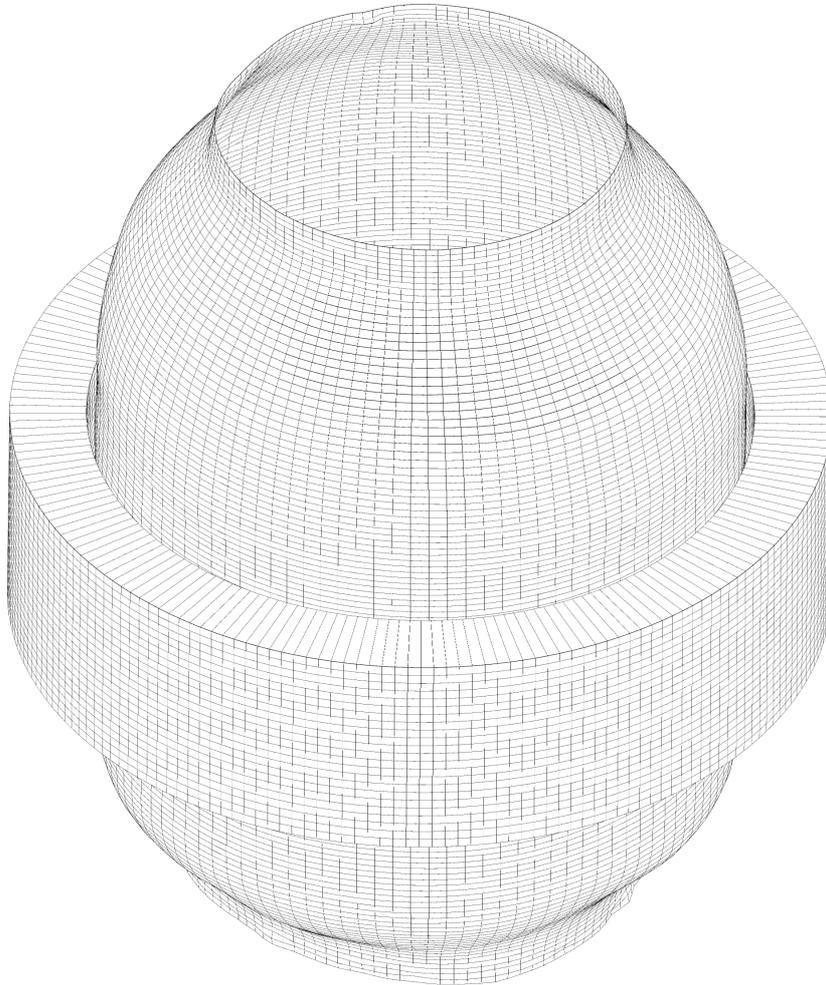


Abb. 5 : Photogrammetrische Konfiguration

Ergebnisse

Die ca. 4000 ausgeglichenen Objektpunkte wurden mit dem Programm LISA (IPI, Linder) in ein regelmäßiges DOM (Digitales Oberflächen-Modell) mit einer Maschenweite von ca. 20 cm überführt. Anschließend wurde eine angenommene Wandstärke von 7 cm hinzugefügt,

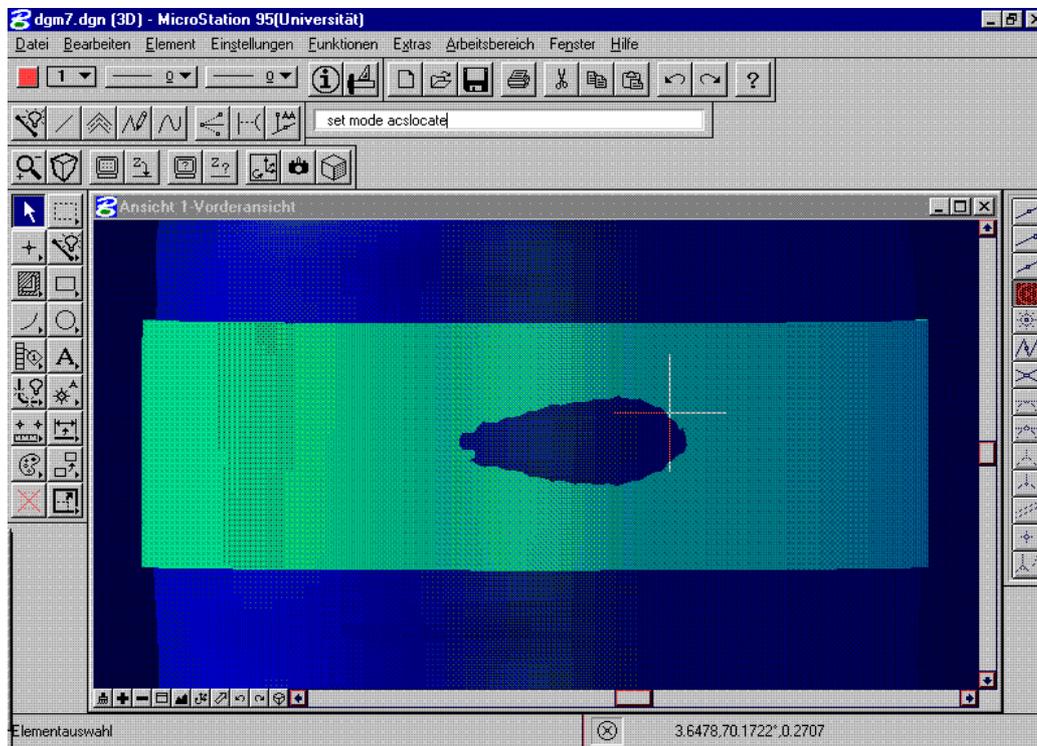


**Abb. 6 : Netzdarstellung der Objektkoordinaten
(mit gerechnetem Tragrings)**

um die Form der Außenwand zu erhalten. Dabei wurde eine Interpolation verwendet, die die vertikalen Krümmungsverhältnisse der Konverterform berücksichtigt. Aus diesen Daten wurden zusätzlich Profile vertikaler und horizontaler Lage berechnet, deren genaue Positionen vom Auftraggeber festgelegt waren.

Das Auffinden der im Sinne der Problemstellung kritischen Bereiche geschah durch die Berechnung eines Differenzenmodells. Dabei wurde die Form des geodätisch bestimmten Tragrings mit der Gefäßaußenwand verglichen, indem ausgehend von der Vertikalachse des Konverters in einem regelmäßigen Raster die Abstände aus beiden Datensätzen interpoliert wurden.

Eine Ergebniskontrolle der photogrammetrischen Aufnahme wurde mit Hilfe der geodätisch bestimmten Paßpunkte durchgeführt, deren Genauigkeit von besser als $\pm 1,5$ mm für diesen Zweck geeignet war. Das aus der Blockausgleichung erhaltene Quadratmittel der Widersprüche an den Paßpunkten betrug für $s_x = \pm 2$ mm, für $s_y = \pm 3$ mm und für $s_z = \pm 1$ mm.



**Abb. 7 : Stelle mit kritischer Verformung
(Wendeln, 1998)**

Die Genauigkeit des Datenmodells einschließlich der Konsistenz von geodätischen und photogrammetrischen Messungen wurde anhand von stichprobenartigen Bestimmungen der Luftspaltbreite kontrolliert. Dabei ergab sich eine gute Übereinstimmung der Werte im Bereich $< \pm 3$ mm.

Alle Ergebnisse wurden in ein CAD-System überführt, mit dem sich bei Bedarf weitere Analysen durchführen lassen.

Fazit

Es wurde gezeigt, daß die schnelle Formbestimmung großer Konvertergefäße mit ausreichender Genauigkeit photogrammetrisch erfolgen kann. Dabei ist die Bereitstellung eines einheitlichen Koordinatensystems und die Vermessung der äußeren Tragelemente unter den gegebenen Umständen nur mit geodätischen Methoden effektiv und sinnvoll. Die aufwendige photogrammetrische Auswertung kann in Zukunft durch den Einsatz geeigneter digitaler Bildaufnahmetechniken und darauf aufbauender automatischer Meßoperatoren erheblich beschleunigt werden.