

# 3D-Vermessung von Stranggießanlagen

FRANK MÖNSTERS, sigma3D GmbH, Gladbeck  
 HORST VON WYL, SMS Demag AG, Düsseldorf  
 GEORG GRUNDMANN, Salzgitter Flachstahl GmbH, Salzgitter

Referat vor dem Arbeitskreis Stranggießanlagen des VDEh  
 am 21. März 2006 in Düsseldorf

## ZUSAMMENFASSUNG

Im August und September 2005 wurde ein neues Messkonzept zur Vermessung von Stranggießanlagen bei der Vermessung der Stanggießanlage 2.1 und 2.2 der Salzgitter Flachstahl GmbH in Salzgitter erstmals angewendet. Grundlegend für das Messkonzept ist der Einsatz von 3D-Laser-Trackern und die Ausstattung der Segmente mit Referenzpunkten, über die bei der Anlagenmessung auf die Lage der Führungsrollen und damit auf die Passline zurückgerechnet wurde. Eine Stranggießanlage konnte bei diesen Messungen in 16 Stunden ohne Entfernen der Oberrahmen vermessen werden.

## EINLEITUNG

Der planmäßige Betrieb einer Stanggießanlage hängt von ihrer sauberen und ordnungsgemäßen geometrischen Ausrichtung ab. Die Erfassung der Geometrie einer Stranggießanlage (SGA) und/oder ihrer Komponenten ist zeitaufwändig und fehleranfällig. Daneben bestehen Zweifel, ob die verfügbaren Messverfahren und -hilfsmittel in der Lage sind, die zur Funktionserfüllung erforderliche Messgenauigkeit überhaupt sicher zu stellen.

Zur Einmessung der Passline (Verbindungsline der Soll-Berührungspunkte Rollen zu Hinterkante (HK) Strang) müssen die Segmente gezogen, ihre Oberrahmen entfernt und die Segmente zur Messung wieder eingesetzt werden. Aktuell erfolgt die Messung der Ist-Positionen der Komponenten mit Theodolit, Nivelliergerät und / oder Schnurgerüsten auf die Rollenbahnen der Segmentunterteile und / oder auf die Segmentauflagen. Dabei wird oft auf Messmarken referenziert, die relativ zur idealen Anlagen-Maßbezugslinie nicht ortsfest sind (thermische Dehnungen, Fundamentsetzungen). Die Auswertung der Messungen wird von Hand mit Taschenrechnern durchgeführt. Nach erfolgter Messung muss die gesamte Strangführung wieder in den Ausgangszustand zurückversetzt werden. Neben dem ganz erheblichen Zeitaufwand birgt diese Verfahrensweise auch ein zusätzliches Fehlerpotential, weil oft nicht gewährleistet werden kann, dass die Aufspannung der Segmente vor und nach der Aktion identisch ist. Der Zeitaufwand für die Vermessung einer Anlage liegt erfahrungsgemäß bei ca. 14 Tagen oder mehr.

## MESSSYSTEM

Ein Laser-Tracker (Abbildung 1) ist ein mobiles 3D-Koordinatenmessgerät. In den letzten Jahren hat sich

diese Technologie in der Industrie sehr stark verbreitet. Insbesondere in den Bereichen Automobil- und Flugzeugindustrie sind solche Geräte zu finden.



Abbildung 1 – Laser-Tracker

Ein Laser-Tracker kann einen kugelförmigen Reflektor (Abbildung 6) im Raum anzielen. Das Gerät misst zwei Winkel in senkrecht zueinander liegenden Ebenen und die Distanz zu diesem Reflektor. Diese drei Messwerte entsprechen Polarkoordinaten des Reflektors, die in rechtwinklige Koordinaten umgerechnet werden können. Diese Koordinaten liegen zunächst in einem internen Messgerätekoordinatensystem vor. Hat das Gerät einmal einen Reflektor angezielt, kann es diesen während einer Bewegung verfolgen und kontinuierlich Messwerte aufnehmen. Da die Anpeilung des Reflektors über einen Laserstrahl erfolgt, darf zwischen Reflektor und Gerät kein Sichthindernis vorhanden sein. Über eine Messsoftware, die im Wesentlichen die Leistungsmerkmale herkömmlicher stationärer 3D-Koordinatenmessgeräte (KMG) aufweist, lassen sich verschiedene Auswertungen, Berechnungen, Definitionen von Koordinatensystemen usw. durchführen. Die Genauigkeit einer gemessenen Koordinate hängt von der Distanz des Reflektors zum Messgerät ab und wird typischerweise mit 0,01 mm je 1 m Entfernung zum Messgerät angegeben (Vertrauensbereich  $2\sigma = 95\%$ ). Bei entsprechender Positionierung des Messgerätes treten in einer SGA maximale Distanzen von 15 m auf, dies entspricht einer Messgenauigkeit von 0,15 mm.

## REFERENZPUNKTKONZEPT

Bei der Vermessung einer SGA ist es die Aufgabe, die Position der Passline bzw. die Position der Führungsrollen und der Kokille zu bestimmen. Eine direkte Anmessung der Rollen mit dem Reflektor ist nicht möglich, da diese im Einbauzustand innerhalb des Segmentes liegen und nicht zugänglich sind. Grundsätzlich wird in der Messtechnik eine solche Problematik über die Schaffung von Ersatzpunkten gelöst, die messbar sind. Die Lage dieser Punkte in Bezug auf die Führungsrollen muss dazu durch Messung bestimmt werden. Die Referenzpunkte (Abbildung 2 und Abbildung 4) werden so am Segment angebracht, dass möglichst viele Referenzpunkte an möglichst vielen Segmenten von möglichst wenigen Gerätestandpunkten eingesehen werden können. Der Gerätestandpunkt liegt dabei günstigerweise möglichst nah am Gießmittelpunkt der SGA. Von hier aus ist jeweils ein Spalt zwischen den einzelnen Segmenten sehr weit einsehbar. Bei verschiedenen Messungen hat es sich bisher gezeigt, dass für jede Anlage neu überlegt werden muss, an welcher Stelle am Segment ein Referenzpunkt platziert wird. Da sie einen dauer-

haften und festen Bezug zu den Führungsrollen sicherstellen müssen, ist ausschließlich der Unterraum des Segmentes geeignet. Aus im Folgenden noch näher beschriebenen Gründen werden vier Referenzpunkte je Segment vorgesehen, die jeweils in Gießrichtung links und rechts am Ein- und Auslauf angebracht werden.



Abbildung 2 - Referenzpunkt am Segment

### TRANSFERMESSUNGEN

Der geometrische Bezug zwischen den Referenzpunkten und den Führungsrollen wird im Rahmen einer Transfermessung hergestellt. Diese wird im günstigsten Fall im Ausrichtstand in der Werkstatt durchgeführt, kann aber auch an jedem beliebigen Ort stattfinden, an dem das Segment sicher und reproduzierbar abgestellt werden kann. Zur Ermittlung der Lage der Referenzpunkte am Segment werden alle Rollen des Segmentes taktil angemessen, d. h. jede Rolle wird einzeln händisch mit dem Reflektor abgetastet. In einem Segment mit 6 Rollenreihen und 2 Rollen je Reihe werden je Rolle auf jeder Seite der Rolle die Berührungspunkte Rolle zu HK Strang ermittelt. Aus der jeweiligen Segmentzeichnung und / oder unter Zuhilfenahme des Gießradius kann für jeden dieser Punkte eine Soll-Koordinate in einem lokalen Segmentkoordinatensystem ermittelt werden. Somit liegen nach der Messung bei diesem Segmenttypen  $6 \cdot 2 \cdot 2 = 24$  Punkte mit ihren Ist-Koordinaten (zunächst im Koordinatensystem des Messgerätes) und ihren Soll-Koordinaten vor (Abbildung 3).

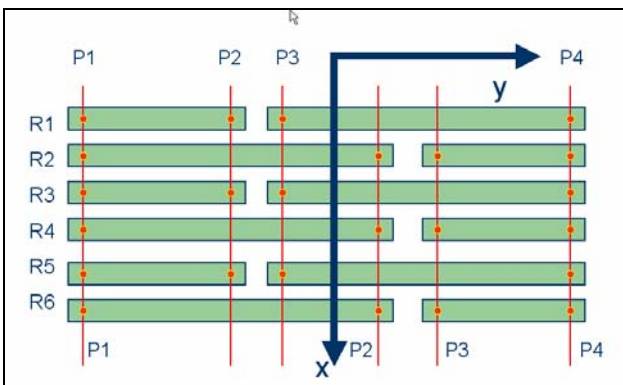


Abbildung 3 - Diskrete Punkte je Rolle und Segment

Zusätzlich liegen die Koordinaten der vier Referenzpunkte im Koordinatensystem des Messgerätes vor. Mit Hilfe

einer überbestimmten 3D-Koordinatentransformation werden die beiden Koordinatensysteme zur Deckung gebracht. Dabei werden die Transformationsparameter (3 Rotationen und 3 Translationen) so ermittelt, dass die Summe der quadratischen Restabweichungen minimiert wird (Methode der kleinsten Quadrate nach C. F. Gauß). Mit diesen Parametern können die Referenzpunkte in das Soll-Koordinatensystem des Segmentes überführt werden. Die Restklaffungen sind die nach der Transformation verbleibenden Abweichungen der 24 Berührungspunkte in x, y und z und entsprechen der tatsächlichen Abweichung der Rollenberührungspunkte von der Passline. Sie können in radiale (dR), tangentiale (dT) und seitliche (dy) Abweichungen zum Strang umgerechnet werden. Dadurch wird bei der Transfermessung eine komplette Prüfung eines jeden Segmentes durchgeführt. Verschiedene Messungen in verschiedenen Stahlwerken haben gezeigt, dass mit den klassischen Methoden Schablone und Fühlerlehre eine Ausrichtgenauigkeit der Segmente von  $\pm 0,3$  mm ( $2 \sigma$ ) erreicht werden kann. Darüber hinaus zeigten sich immer wieder Ausreißer, die bis zu 1,0 mm gehen. Die Genauigkeit der Laser-Tracker Messungen bei den Transfermessungen wurde anhand eines Messmittelvergleichs mit den Methoden Schablone, Nivelliergerät und einem Versuchsaufbau mit übergeordneter Genauigkeit validiert und ergab eine Standardabweichung ( $1 \sigma$ ) von  $\pm 0,08$  mm für einen Berührungspunkt in radialer Richtung (Nivelliergerät  $\pm 0,16$  mm und Schablone  $\pm 0,22$  mm).



Abbildung 4 - Reflektor auf Pin Nest zur Adaption auf Referenzpunkt

### MESSUNG VON KOKILLE UND SEGMENT NULL

Aufgrund baulicher Eigenschaften einer SGA ist die Anmessung des Segmentes Null von einem Standpunkt in der Nähe des Gießmittelpunktes nicht möglich. Allerdings sind alle Rollen des Segmentes Null durch den Gießspalt auf der Kokille stehend sichtbar. Ein auf der Kokille positionierter Laser-Tracker (Abbildung 5) könnte also einen Reflektor messen, der über die HK Kokille und über die Rollen des Segmentes Null geführt wird. Zur Führung des Reflektors wurde eine Reflektorhalterung entworfen, die mit einem Seil in den Gießspalt abgelassen wird. Durch ein entsprechendes Gegengewicht wird der sichere Kontakt zwischen Messreflektor und Rollenoberfläche hergestellt. Bei Herablassen des Reflektors zeichnet der Laser-Tracker in einem wegabhängigen Scan kontinuierlich Messwerte auf. Mit einer ähnlichen Adapterkonstruktion konnte mittlerweile auch der senkrechte gerade Teil einer CSP Anlage erfolgreich vermessen werden.



Abbildung 5 - Messung Kokille und Segment Null mit Adapter

### ANLAGENMESSUNG

Die Messung der SGA beschränkt sich im Folgenden auf die Erfassung der Koordinaten der Referenzpunkte an allen Segmenten. Dazu sind ein oder mehrere geeignete Standpunkte für den Laser-Tracker zu finden. Sind mehrere Standpunkte notwendig, müssen diese messtechnisch miteinander verknüpft werden, z. B. der Standpunkt auf der Kokille mit mindestens einem Standpunkt in der Nähe des Gießmittelpunktes. Dazu wird für die Dauer der Anlagenmessung ein temporäres Festpunktfeld im Bereich der Anlage realisiert. Zur Verdeutlichung: Dieses Punktfeld ist lediglich von temporärer Bedeutung und wird nach den Messungen wieder entfernt. Es werden ca. 10 Punkte auf der Gießbühne und ca. 6 weitere im unteren Anlagenbereich angebracht. Die Punkte sind dabei magnetische Nester, die den Reflektor des Laser-Trackers reproduzierbar aufnehmen (Abbildung 6).



Abbildung 6 - Reflektor im Magnetnest

Von jedem Standpunkt wird ein möglichst großer Teil der Festpunkte angemessen. Werden die Punkte von mehreren Standpunkten angemessen, liegt von jedem Standpunkt ein Strahlenbündel vor. Die Strahlenbündel aller Standpunkte müssen sich in den Festpunkten treffen. Aufgrund unvermeidlicher Messungenauigkeiten werden sich die Strahlen aber nicht exakt in den Punkten treffen. In einer Bündelausgleichung werden die auftretenden Abweichungen nach der bereits benannten Methode der kleinsten Quadrate minimiert und die wahrscheinlichsten Transformationsparameter zwischen den Gerätestandpunkten ermittelt. Die

sich ergebenden Restabweichungen können zur Ermittlung der Messgenauigkeit herangezogen werden.

Möglicherweise lässt sich für einige Segmente kein Standpunkt finden, um die Referenzpunkte an ihnen zu messen, d. h. es existiert keine Position für den Laser-Tracker auf der Gießbühne, an dem eine Sichtverbindung zum Referenzpunkt hergestellt werden kann. In diesem Fall kann mit einem Vektorstab dennoch eine Messung eines verdeckten Punktes erfolgen (Abbildung 7). Sie ist allerdings aufwändiger als eine Direktmessung und hat einen negativen Einfluss auf die Messgenauigkeit.

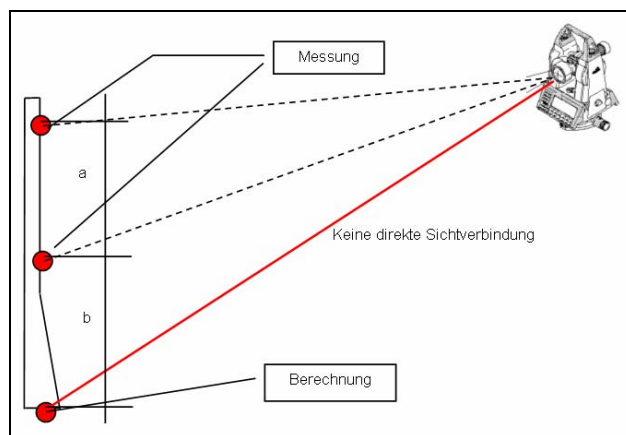


Abbildung 7 - Prinzipskizze Vektorstab

Bei den bisherigen Einsätzen einer Vektorstabvariante wurden sehr positive Erfahrungen gesammelt. Wichtig ist die Erkenntnis, dass mit dem Stab lediglich die für die SGA wichtige zum Strang radiale Lage der Referenzpunkte hochgenau ermittelt werden muss. Für die tangentiale und seitliche Lage der Referenzpunkte in der Anlage reichen Genauigkeiten von  $\sim 1$  mm.

Nach den Messungen innerhalb der Anlage liegen alle Referenzpunktkoordinaten der Segmente und die Scans von Kokille und Segment Null in einem Koordinatensystem vor, z. B. in dem Gerätekoordinatensystem des ersten Gerätestandpunktes. Mit den Daten der Transfermessungen können von allen Segmenten die 24 Berührungspunkte in diesem einheitlichen Koordinatensystem berechnet werden. Für das Segment Null müssen die Scandaten so gefiltert werden, dass jeweils die Berührungspunkte als diskrete Punkte ermittelt werden. Für die Kokille wird ähnlich verfahren.

### KONZEPT DER SELBSTREFERENZIERUNG

Für alle Berührungspunkte der Führungsrollen können, z. B. aus dem Rollenplan der Anlage, die nominellen Zeichnungswerte in Form von  $x$ ,  $y$  und  $z$  Koordinaten ermittelt werden. Diese Koordinaten liegen dann in einem nominellen Anlagenkoordinatensystem vor. Über die bereits beschriebene überbestimmte 3D-Transformation lassen sich die Koordinaten der Ist-Messung und die Soll-Koordinaten zur Deckung bringen. Die Restabweichungen in  $x$ ,  $y$  und  $z$  lassen sich für jeden Rollenberührungspunkt in eine radiale ( $dR$ ), eine tangentiale ( $dT$ ) und eine seitliche ( $dy$ ) Abweichung umrechnen und stehen für die Fehlstellung jeder einzelnen Rolle innerhalb der Anlage. Bei dieser Vorgehensweise sind keine zusätzlichen Festpunkte in

der Anlage nötig, welche die Solllage der Segmente definieren. Die Selbstreferenzierung bietet die wesentlichen Vorteile:

- Geringerer Messaufwand, da keine zusätzlichen Festpunkte angemessen werden müssen. (In der klassischen Vorgehensweise sind alleine dafür mind. 2 Tage mit erheblichem Aufwand anzusetzen, gegebenenfalls müssen sogar Segmente dafür gezogen werden.)
- Als Grundlage für die Ausrichtung der Anlage wird nicht die Lage von Festpunkten herangezogen, deren richtige Lage aufgrund thermischer Änderungen und Fundamentsetzungen fragwürdig ist.
- Durch die Selbstreferenzierung wird der wichtigen nachbarschaftlichen Beziehung der Segmente (Vermeidung von Übergangsfehlern) besondere Rechnung getragen. Insbesondere wenn nur Teile einer Anlage vermessen werden, ist diese Vorgehensweise der Verwendung von Festpunkten deutlich überlegen.

Sollen z. B. nur die Segmente 3 bis 7 vermessen werden, kann die 3D-Transformation derart ausgeführt werden, dass die Segmente 2 und 8 auch angemessen werden und nur über sie das Koordinatensystem definiert und gefunden wird. Die Segmente 3 bis 7 werden dann optimal zwischen den beiden benachbarten Segmenten eingepasst. Würden in diesem Falle externe Festpunkte verwendet, werden zwar die Segmente 3 bis 7 richtig zueinander eingestellt. An den Übergängen zu 2 und 8 kann es aber zu deutlichen Abweichungen kommen, wenn die Lage der Festpunkte ungenau ist oder auch messtechnisch nur ungenau messbar ist (Einsatz von Schnurgerüsten und Messgenauigkeit im Bereich 0,1 mm?). Neben der Einpassung zwischen benachbarte Segmente können auch Einpassungen zur Kokille oder auch zu den Pilzen zur Aufnahme der Mutterschablone für die Kokillenausrichtung durchgeführt werden.

#### EINGESETZTE MESSSOFTWARE

Die Transfermessungen können weitestgehend mit Standardsoftwarepaketen für 3D-Messtechnik ausgeführt werden.

Die angesprochenen Berechnungen im Rahmen der Anlagenmessung sind Standardmethoden. In ihrer Kombination werden sie allerdings komplexer und mit Standardsoftware nur noch schwer beherrschbar. Für die Anlagenmessungen wurde daher auf eine eigens entwickelte Software zurückgegriffen. Sie ermöglicht direkt nach der Messung die Berechnung und Ausgabe der radialen und tangentialen Abweichungen jeder Rolle. Zusätzlich werden direkt für jede Auflagefläche eines Segmentes die notwendigen Justierbeträge ermittelt, um das Segment optimal auszurichten.

#### AUSWERTUNG VON REDUNDANZEN

Zur Kontrolle der Messungen und zur Ableitung von Messgenauigkeiten ermöglicht die Software weiterhin die Auswertung von Redundanzen. Als Redundanz wird in der Messtechnik die doppelte oder auch mehrfache Bestimmung eines Messwertes verstanden. Im günstigsten Fall entsteht die Redundanz nicht nur durch eine einfache

Wiederholungsmessung sondern durch zwei voneinander möglichst unabhängige Messungen. Im Messkonzept für die Vermessung von SGA werden bewusst an verschiedenen Stellen Redundanzen erzeugt und ausgewertet. Es sind dies im Einzelnen:

1. Das temporäre Referenzpunktfeld auf der Gießbühne wird von jedem Standpunkt erneut gemessen. Es muss sich jeweils die gleiche Geometrie des Punktfeldes wieder finden.
2. Referenzpunkte am Segment werden zweimal relativ zueinander vermessen, bei der Transfermessung und bei der Anlagenmessung. Die vier Punkte müssen die gleiche Geometrie zueinander aufweisen. Abweichungen sind auf Messungenauigkeiten aber auch auf tatsächliche Veränderungen in der Lage der Referenzpunkte zurückzuführen, z. B. aufgrund einer unebenen Aufstellfläche des Segmentes.
3. Mit dem Vektorstab werden zusätzlich zu den nicht direkt messbaren Referenzpunkten am Segment auch solche gemessen, die direkt messbar sind. Dadurch lassen sich beide Messwerte in ihrer radialen Komponente miteinander vergleichen.
4. Bei der Messung von Kokille und Nullsegment kann häufig auch die erste Rolle des Segmentes 1 erreicht werden. Die Lage dieser Rolle ist auch über die Referenzpunkte des Segmentes 1 ermittelt worden.

#### ANLAGENVERMESSUNG BEI DER SALZGITTER FLACHSTAHL GMBH

Bei der Umsetzung des Konzeptes im August und September 2005 konnte eine Stranggießanlage in 16 Stunden vermessen werden. Das dabei entdeckte Verbesserungs- und Optimierungspotential wird diese Messzeiten in Zukunft reduzieren.

Die Transfermessungen wurden im August an Ersatzsegmenten der Anlage durchgeführt. Es wurde ca. ein Arbeitstag für zwei bis drei Segmente benötigt.

Direkt nach der Anlagenmessung konnte das Messergebnis in Form eines Diagramms (Abbildung 8) dargestellt werden. Die erforderlichen Justierbeträge wurden in einer Liste ausgegeben. Die unterschiedlichen Farben stellen dabei jeweils die vier Berührpunkte je Rollenreihe dar. Auf der waagerechten Achse von links nach rechts sind die einzelnen Rollen in Gießrichtung angeordnet und auf der vertikalen Achse die Abweichungen vom Gießradius  $dR$  aufgetragen.



Abbildung 8 - Ergebnisse Anlagenvermessung

Die Auswertungen der verschiedenen Redundanzen ergaben folgende Ergebnisse:

### 1. Redundanzen im Referenzpunktfeld:

Aus den Mehrfachmessungen des Festpunktfeldes ergab sich eine Standardabweichung von 0,08 mm für eine einmal gemessene Koordinatenrichtung (Abbildung 9).

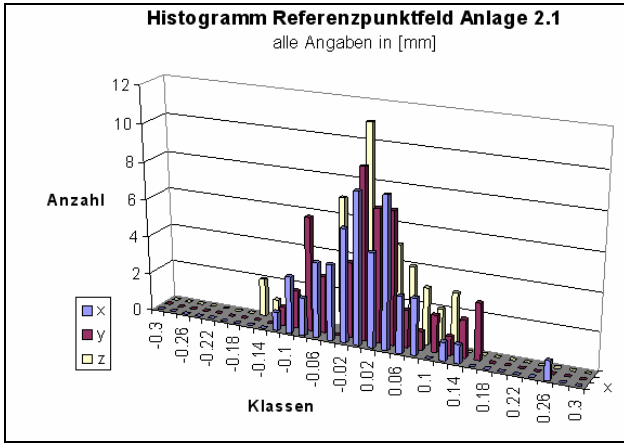


Abbildung 9 - Restklaffungen temporäres Festpunktfeld

### 2. Referenzpunkte am Segment

Im Rahmen verschiedener Justierschritte bei der Anlagenmessung wurden die Segmente mehrmals vermessen. Als Redundanz wurde jeweils nur die radiale Richtung der Segmente ausgewertet, da die seitliche und tangentielle Richtung bei mit Vektorstab gemessenen Punkte Ungenauigkeiten von ~ 1 mm aufweisen.

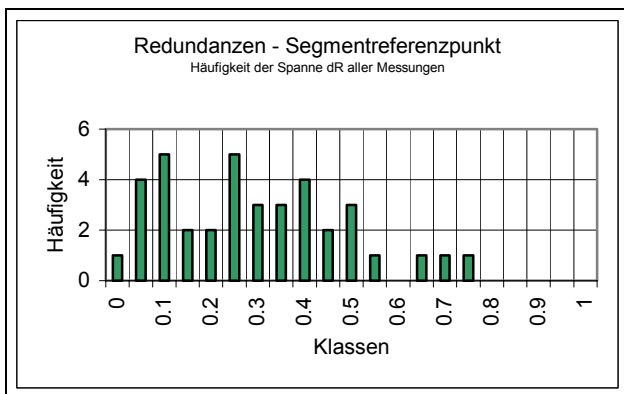


Abbildung 10 - Spanne dR Referenzpunkte je Segment

Nach den Möglichkeiten des Messgerätes waren hier maximal  $\pm 0,2$  mm also eine Spanne von 0,4 mm zu erwarten (Abbildung 10). Nachforschungen vor Ort haben ergeben, dass unebene Auflageflächen des Segmentes in der Anlage einen wesentlichen Einfluss auf diesen Wert haben, da das Segment bei der Montage entsprechend verspannt worden ist.

### 3. Redundanzen durch direkte Referenzpunktmessungen und Punktmessungen mit Vektorstab

Wiederholt wurden Referenzpunkte in der Anlage direkt und mit Vektorstab gemessen. Diese Messungen sind dabei nicht immer direkt hintereinander, sondern häufig auch von

verschiedenen Standpunkten und an verschiedenen Messtagen durchgeführt worden. Die Auswertung der Doppelmessungen ergibt in radialer Richtung eine maximale Differenz von + 0,29 mm und eine minimale Differenz von - 0,20 mm; als Standardabweichung ergibt sich 0,12 mm.

### 4. Wiederholte Messung der Rolle 1 des Segmentes 1

Die Rolle 1 des Segmentes 1 wird einerseits durch die Referenzpunkte des Segmentes bestimmt, andererseits durch die Messung mit Adapter durch die Kokille. Es ergeben sich zwischen diesen Messungen radiale Abweichungen von 0,17 mm auf der linken Seite bzw. 0,27 mm auf der rechten Strangseite.

### AUSBLICK – WEITERE ENTWICKLUNGEN

Die Untersuchungen der Transfermessungen haben aufgezeigt, dass die Ausrichtung der Führungsrollen im Segmentausrichtstand mit Schablonen mit einer Standardabweichung von 0,22 mm erfolgt. Die Standardabweichung besagt, dass 68,3 % der Messwerte in das Intervall  $\pm 0,22$  mm fallen. Die Standardabweichung wurde im Rahmen einer Vergleichsmessung ermittelt. Es ist bekannt, dass bei solchen Messvergleichen alle Beteiligten mit besonderer Sorgfalt arbeiten. Im Tagesgeschäft dürften die erzielbaren Genauigkeiten mit Schablonenmessungen daher eher mit noch geringerer Genauigkeit anzusetzen sein.

Die Transfermessungen mit Laser-Tracker sind genau und nur in einem sehr geringen Maße abhängig vom Faktor Mensch. Wird für die Aufgabe der Ausrichtung von Führungsrollen an einem Segment mit Laser-Tracker eine einfache Software entwickelt, kann diese Aufgabe von einem entsprechend geschultem Mitarbeiter übernommen werden, der bisher die Schablonenmessungen durchgeführt hat. Bei dieser Messung könnten auch die Referenzpunkte des Segmentes vermessen werden.

Durch einen solchen Laser-Ausrichtstand wird es möglich, jede Rolle innerhalb des Segmentes hochgenau zu vermessen und zu justieren. In Verbindung mit der Anlagenmessung entsteht ein durchgängiger messtechnischer Prozess zur Ausrichtung des kompletten Rollenteppiches in der Anlage mit einem digitalen Datenfluss.

Zurzeit wird ein Konzept für einen solchen Laser Ausrichtstand entwickelt. Damit soll die Ausrichtarbeit in der Werkstatt unter Verbesserung der Zuverlässigkeit beschleunigt werden.