

ANWENDUNGEN DER NAHBEREICHSPHOTOGRAMMETRIE BEI RHEINBRAUN

H. Krauß und W. Guder, Köln

1. Einleitung

Die Rheinische Braunkohlenwerke AG (Rheinbraun) baut im Städtedreieck Köln, Düsseldorf und Aachen jährlich rd. 110 Millionen Tonnen Braunkohle in fünf Großtagebauen ab. Ein großer Teil der anstehenden Tagebau-Vermessungen, -Kartierungen und -Massenberechnungen erfolgt seit über 25 Jahren mit Hilfe der Aerophotogrammetrie /1/. Seit einigen Jahren setzt Rheinbraun die Nahbereichsphotogrammetrie für die Vermessung von Großgeräten (Schaufelradbagger und Absetzer), für Deformationsmessungen an Gebäuden und Großgeräten sowie zur Erfassung dynamischer Bewegungsabläufe an großen Maschinen Rheinbraun-intern und bei Fremdaufträgen ein /2/, /3/.

Für Aufgabenstellungen aus der Nahbereichsphotogrammetrie werden folgende Aufnahme- und Auswertekomponenten eingesetzt:

Bei hohen Genauigkeitsanforderungen wird die Jenoptik Universalmeßkammer (UMK) 10/1318, bei Spezialanwendungen, insbesondere motographischen Aufgabenstellungen, die Rollei 6006 Réseau mit Wechseloptik und 70 mm-Filmkassette verwendet. Standardmäßig werden die Filmtypen Panatomic-X und Technical Pan benutzt. Die Vorteile dieser gering lichtempfindlichen Filme liegen in ihrem hohen Auflösungsvermögen. Die Filme werden in der Filmentwicklungsmaschine Hostert Photomata RS 30/12 entwickelt.

Die Bildmessung erfolgt auf den Geräten Zeiss Planicomp C 100 bzw. Zeiss PK 1, die universelle Bündelblockausgleichung über das Programmsystem BINGO, das auf dem Rheinbraun-Großrechner UNISYS U 1100/92 installiert worden ist. Auf diesem Rechner steht ferner ein umfangreiches Softwarepaket für notwendige Plausibilitätskontrollen und weitere Analysen der Daten zur Verfügung.

Diese Komponenten garantieren eine hohe Flexibilität bei der Aufnahmekonzeption, bei den Auswertungs- und Berechnungsmöglichkeiten sowie bei der graphischen und numerischen Weiterverarbeitung der anfallenden Daten.

Im folgenden wird anhand von vier aktuellen Anwendungsbeispielen das bei Rheinbraun angewandte Aufnahme- und Auswertekonzept erläutert.

Aufgrund eines optimierten Arbeitsablaufes bei der Bildmessung und Auswertung kann bei diesen Standardanwendungen ein Bearbeitungszeitraum von ein bis zwei Wochen eingehalten werden.

2. Formkontrolle eines Schaufelrades

Der Schaufelradbagger 255, ein im Tagebau Garzweiler nordwestlich von Köln eingesetztes Großgerät mit einer Förderleistung von 100.000 m³/d und rd. 5000 t Dienstgewicht, erhielt im Rahmen einer umfangreichen Umbaumaßnahme ein neues Schaufelrad mit einem Durchmesser von ca. 14 m. Bei dem in Abbildung 1 dargestellten Schaufelrad handelt es sich um eine völlig neue, aus vorgefertigten Stahlsegmenten vor Ort zusammengeschweißte Konstruktion.

Durch die photogrammetrische Vermessung galt es, die Form des Schaufelradkörpers vor dem Einbau zu bestimmen. In einer zweiten Meßkampagne werden die durch den Einbau des rd. 63 t schweren Schaufelrades bedingten Deformationen ermittelt.

Idealisiert dargestellt besteht das Schaufelrad u. a. aus fünf verschiedenen, ineinandergreifenden Kegelflächen unterschiedlicher Größe. Diese Kegelflächen sind aus 18 mm starken Stahlblechen gefertigt (Abbildung 2).

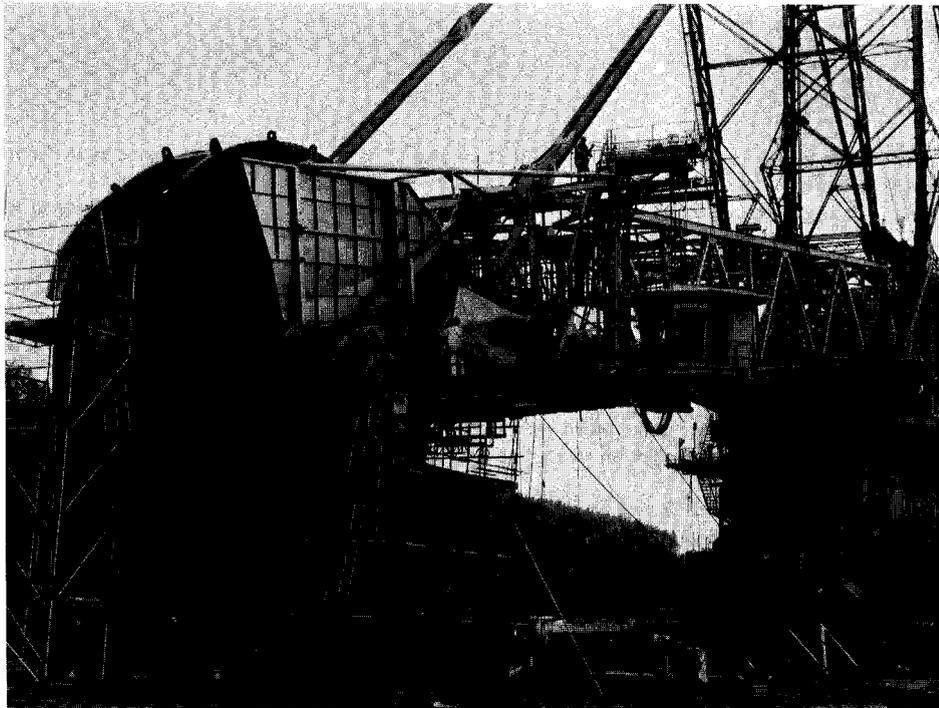


Abb. 1: Schaufelradkörper Bagger 255 vor Montage der Schaufeleimer

Tagebau Garzweiler, Bagger 255

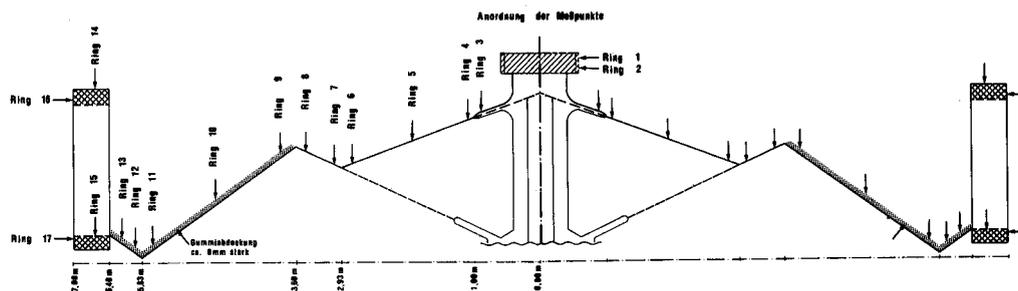


Abb. 2: Querschnitt durch das Schaufelrad mit den Kegelflächen

Zur Formbestimmung wurden diese Flächen mit rd. 450 Zielmarken signalisiert. Die Vermarkung der Beobachtungspunkte erfolgte dabei auf den konzentrischen Ringen 1 bis 17 radial-symmetrisch an 40 Speichen entlang. Je Kegelfläche wurden zwischen 40 und 120 Zielmarken aufgebracht. Des Weiteren wurden die in Abbildung 3 dargestellten Punkte 1 bis 10 für eine spätere Deformationsmessung dauerhaft durch Körnerschlag festgelegt.

Schaufelrad

Tagebau Garzweiler
Bagger 255

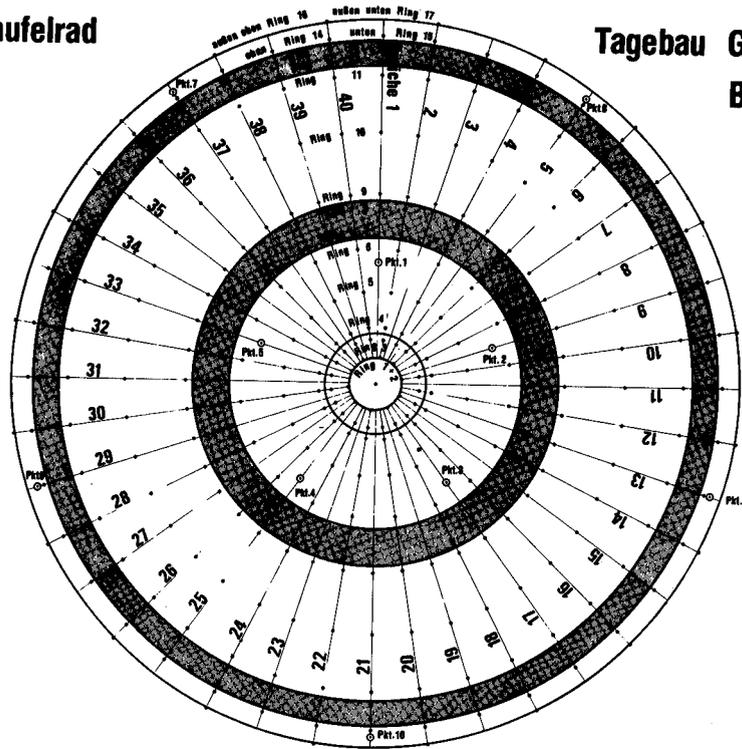


Abb. 3: Vermarkungsschema

Die zur Bündelblockausgleichung notwendigen Paßelemente lieferten die kalibrierten Invar-Nivellierlatten 1 bis 4 (Abbildung 4) und die Höhenunterschiede zwischen den gekörnten Punkten 6 bis 10. Neben diesen Paßelementen wurden zur Erleichterung der Näherungswertbestimmung die Strecken S 1 bis S 10 zwischen den Punkten 6 bis 10 grob eingemessen.



Abb. 4: Paßelemente für die Bündelblockausgleichung

Das Schaufelrad war zum Zeitpunkt der ersten Meßepoche noch nicht eingebaut. Deshalb konnte es auf dem Baggerplanum liegend in einem photogrammetrischen Ringverband aufgenommen werden. Zur Optimierung der Bündelgeometrie wurden von einer Hubbühne aus (Auslegerhöhe rd. 15 m) zusätzlich Bilder aus rd. 9 m und 14 m Höhe gemacht. Insgesamt umfaßt der in Abbildung 5 dargestellte Bildverband 22 UMK 10/1318-Aufnahmen. Aus dieser Aufnahme-konfiguration ergaben sich Bildmaßstäbe von 1 : 100 bis 1 : 150.

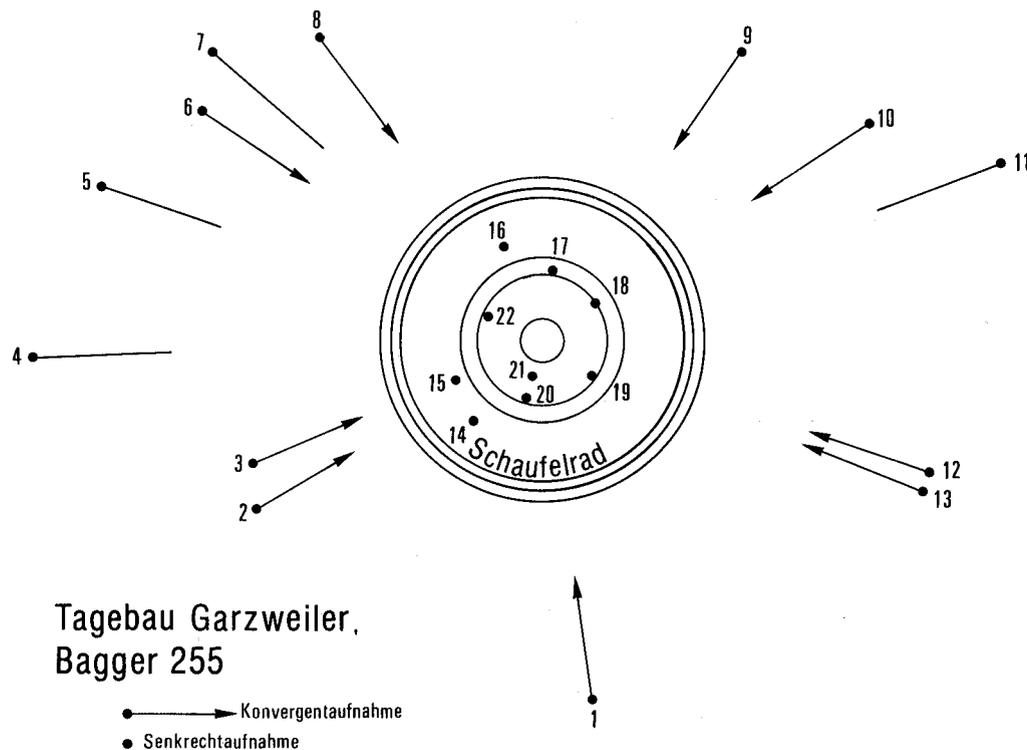


Abb. 5: Aufnahmeanordnung

Die Messung erfolgte am PK 1. Pro Aufnahme wurden im Mittel rd. 220 Objektpunkte gemessen. Die Objektpunkte waren dabei durchschnittlich in 6 Aufnahmen abgebildet.

Die Bildkoordinaten, Strecken und Höhendifferenzen sind gemeinsam als direkte Beobachtungen mit entsprechender a priori Gewichtung in die Bündelblockausgleichung eingeflossen. Ferner wurden die Parameter der inneren Orientierung als Beobachtung mit einer a priori Genauigkeit von 20 μm eingeführt. Die Bestimmung zusätzlicher Parameter diente zur Erfassung noch vorhandener Restsystematiken.

Die Bündelblockausgleichung ergab mittlere Standardabweichungen der Objektpunktkoordinaten von 0.4 mm. Aufgrund der günstigen Aufnahmegeometrie konnten die drei Koordinatenrichtungen aller Punkte gleich genau bestimmt werden.

Zur Formbestimmung wurden durch die Objektpunktkoordinaten (Ringe 4 bis 13 in Abbildung 2) vier ausgleichende Kegelflächen nach der Methode der kleinsten Quadrate gelegt.

Die zweite Meßkampagne, bei der das Schaufelrad im eingebauten Zustand aufgenommen wurde, erfolgte in den letzten Tagen. Die Auswertungen dauern noch an, so daß über die Ergebnisse erst zu einem späteren Zeitpunkt berichtet werden kann.

3. Ermittlung des Durchhanges von Laschenkettten

Für statische Kontrollberechnungen war der Durchhang der vier Laschenkettten des Absetzers 755 (Tagebau Fortuna/Bergheim) zu ermitteln. Bei diesen Laschenkettten handelt es sich um die Abspannelemente zwischen der Ballaststütze und dem Ballast (Abbildung 6).

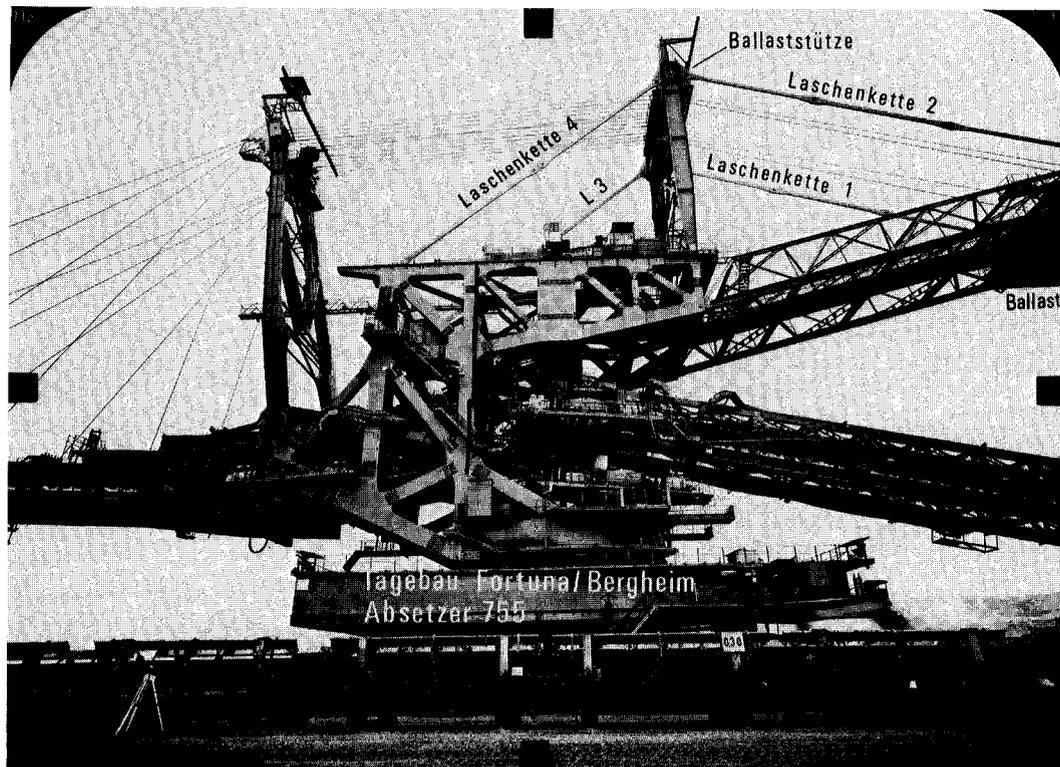
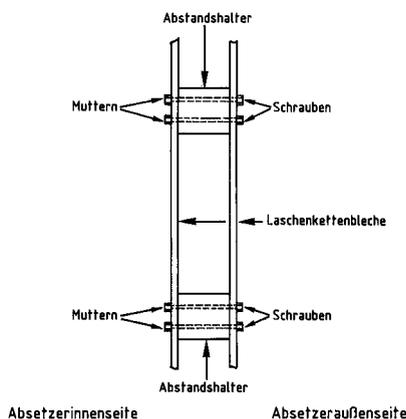


Abb. 6: Mittelbereich des Absetzers 755 mit Laschenkettten



Die einzelnen rd. 15 m langen Glieder dieser Laschenkettten bestehen aus zwei Laschenblechen, die in regelmäßigen Abständen über Abstandshalter verschraubt sind. An jedem dieser Abstandshalter sind zwei Schrauben in der Weise angeordnet, daß die Schraubenköpfe jeweils auf den äußeren Laschenketttenblechen (Absetzeraußenseite) liegen. Auf den inneren Laschenketttenblechen sind die Schraubenmuttern angebracht (Abbildung 7). Die einzelnen Glieder der Laschenkettten sind mit Gelenkbolzen verknüpft.

Abb. 7: Prinzipskizze eines Laschenkettengliedes

Um den räumlichen Verlauf des Durchhanges der Laschenkettten zu bestimmen, wurden die Schraubenköpfe und - soweit sichtbar - die Schraubenmuttern der Laschenketttenbleche eingemessen.

Durch Vorwärtseinschneiden wurden fünf Paßpunkte geodätisch bestimmt. Zwei dieser Paßpunkte waren auf dem Absetzerplanum, drei weitere auf dem Absetzer verteilt angeordnet.

Die acht Aufnahmestandpunkte S1 bis S8 wurden auf zwei parallel zur Absetzerachse angeordneten Basislinien festgelegt. Die horizontalen Abstände der Basislinien zur Geräteachse betragen 30 m und 45 m. Es ergab sich ein mittlerer Bildmaßstab von ca. 1 : 600. Die Meßbilder wurden mit der UMK 10/1318 aufgenommen (Abbildung 8).

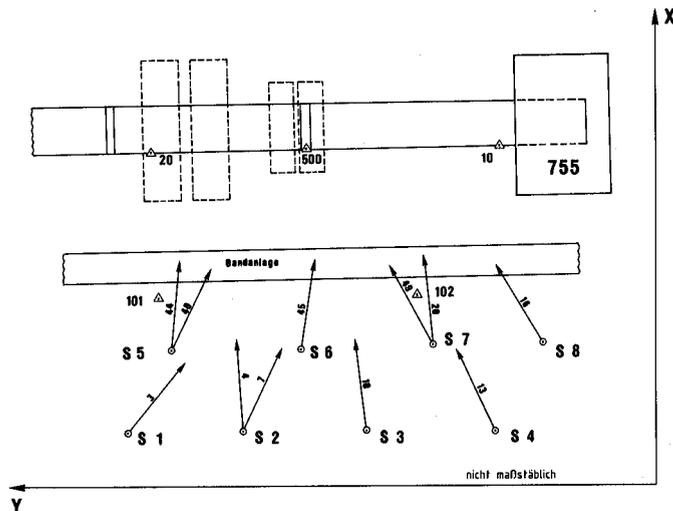
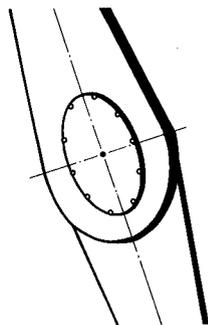


Abb. 8: Skizze der Aufnahmekonfiguration (nicht maßstäblich)



Die Bildmessung erfolgte mit dem PK 1. Da die Mittelpunkte der Gelenkbolzen nicht sichtbar sind, konnten sie nicht gemessen werden. Als Ersatz wurden auf der sichtbaren Umrandung in jedem Bild pro Gelenk ca. 10 Punkte eingemessen (Abbildung 9). Durch diese Meßpunkte eines Bolzens, die in jedem Bild geometrisch auf einer Ellipse liegen, wurde eine ausgleichende Ellipse gelegt. Der so rechnerisch bestimmte Mittelpunkt eines Gelenkbolzens in einem Bild fand als "photogrammetrisch gemessener Punkt" Eingang in die weitere Auswertung. Auf diese Weise konnten trotz Einzelbildauswertung nicht signalisierte Punkte bestimmt werden.

Abb. 9: Prinzipskizze eines Gelenkbolzens mit eingemessenen Punkten

Die anschließende Bündelblockausgleichung erbrachte bei den Objektpunktkoordinaten mittlere Standardabweichungen von 3 mm in X-Richtung (Aufnahmerichtung), 2 mm in Y-Richtung und 3 mm in der Höhe. Ein Vergleich mit parallel durchgeführten geodätischen Messungen brachte Abweichungen an Kontrollpunkten von rd. 2 mm.

Die Analyse der Meßergebnisse wies nicht nur den erwarteten Durchhang der Laschenkettens nach, sondern zeigte auch bogenförmige Aufwölbungen der Laschenkettenglieder im cm-Bereich.

Aufgrund dieser Erkenntnisse und darauf fußender eingehender statischer Untersuchungen werden zur Zeit die Laschenkettens gegen eine Stahseilkonstruktion ausgetauscht.

4. Erfassung der Schwingungen von Laschenketten

Der zuvor beschriebenen Durchhangsermittlung am Absetzer 755 war eine Erfassung der Schwingungen der hinteren Laschenketten vorangegangen. Dabei waren das horizontale Schwingungsverhalten der Laschenketten quer zur Geräterängsachse und die Stellen der größten Amplituden während des Fahrbetriebes zu ermitteln.

Die Ermittlung des Schwingungsverhaltens der Laschenketten L 1 und L 2 während des Anfahr-, Fahr- und des Abbremsvorganges erfolgte für einen Zeitraum von jeweils ca. 35 sec. mit einer mittleren Bildfolge von 0.7 sec.. Die Aufnahmestandpunkte wurden auf dem Ballast hinter den Laschenketten angeordnet, die eingesetzte Rolle 6006 Réseau parallel zur Laschenkette ausgerichtet (Abbildung 10).



Abb. 10: Meßbild, Laschenkette L 1

Da die Laschenketten nicht signalisiert werden konnten, wurden die äußeren Kanten (Abbildung 7) der Laschenketten L 1 und L 2 ausgewertet. Als Anhalt für die einzumessenden Kantenpunkte dienten die jeweils unteren Schrauben der Abstandshalter. Bei der Bildmessung am PK 1 erhielt man Bildkoordinaten von 13 Kantenpunkte je Bild. Über die am unteren und oberen Ende der Laschenkette signalisierten Anlenkpunkte wurden die Bildkoordinaten der einzelnen Bilder nacheinander in die erste Aufnahme (Gerätestillstand) transformiert. Damit wurde der Einfluß der Bewegungen des Ballastes, des Pylones und der Rolle auf die Bilder rechnerisch eliminiert. Die Differenzen der transformierten Bildkoordinaten zu den Bildkoordinaten der Bezugsaufnahme multipliziert mit dem lokalen Bildmaßstab (pro Meßpunkt) entsprechen den horizontalen relativen Bewegungskomponenten zum Zeitpunkt der Aufnahmen.

In Abbildung 11 sind für den Zeitraum 22.7 sec bis 27.7 sec. nach dem Anfahrvorgang die ermittelten relativen Bewegungsvektoren für eine Laschenkette dargestellt. Abbildung 12 zeigt die maximalen Ausschläge der relativen Bewegungsvektoren als einhüllende Kurve. Es wurden Schwingungsbeträge bis zu 25 mm ermittelt. Die Genauigkeiten betragen in Abhängigkeit vom Bildmaßstab 2 bis 4 mm.

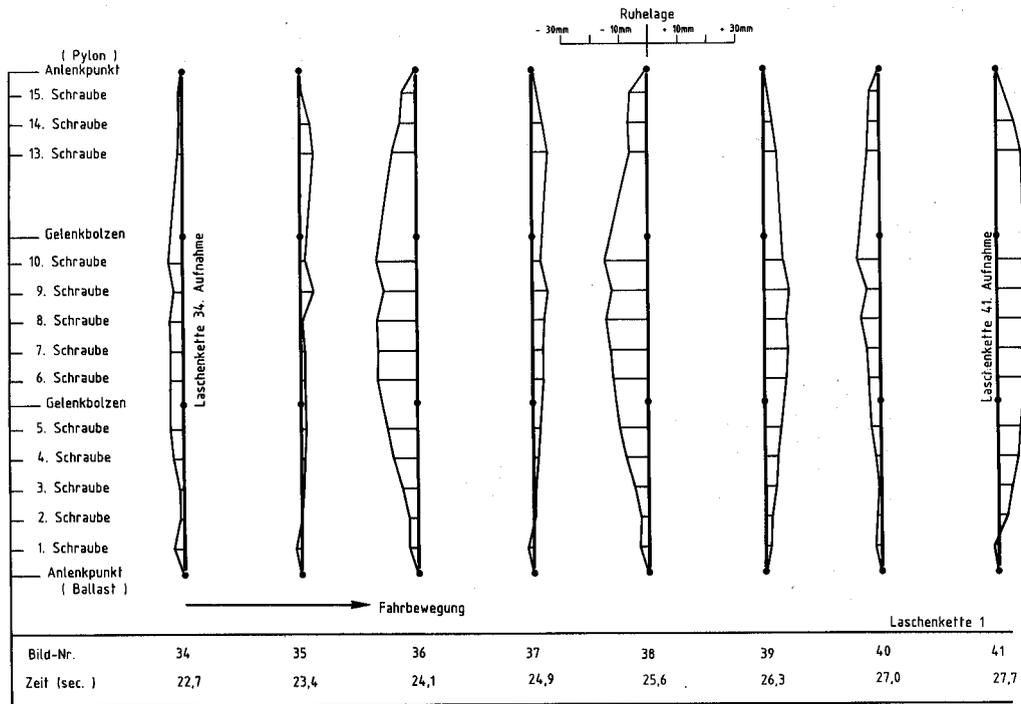


Abb. 11: Relative Bewegungskvektoren der Laschenkette L 1

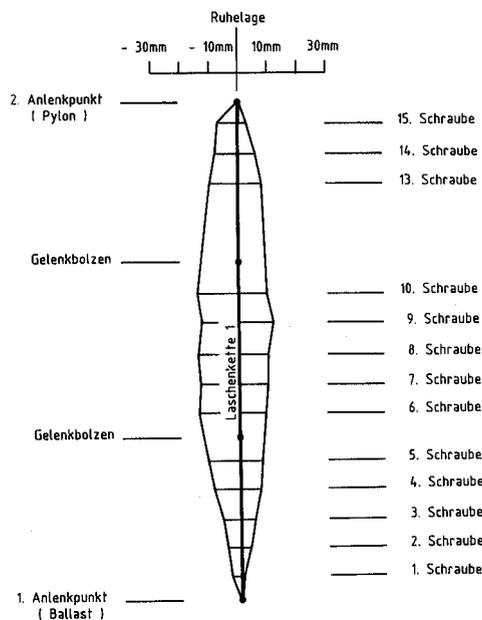


Abb. 12: Einhüllende Kurve für relative Bewegungskvektoren der Laschenkette L 1

5. Beobachtung von Bauwerksdeformationen

Neben den Gerätevermessungen werden bei Rheinbraun auch photogrammetrische Deformationsmessungen an Gebäuden, die bergbaubedingten Bodenbewegungen ausgesetzt sind, durchgeführt. Abbildung 13 gibt den Grundriß einer Kirche im rheinischen Braunkohlenrevier wieder. Bei den in regelmäßigen Zeitabständen stattfindenden Präzisionsnivellements stellte sich heraus, daß lokale Höhenveränderungen zu Schäden im Chorbereich führten. Aufgrund des vorliegenden Schadensbildes erfolgten erste Reparaturmaßnahmen. Nachdem bei nachfolgenden Präzisionsnivellements wiederum lokale Höhenveränderungen nachgewiesen wurden, wurde ein umfangreiches Sanierungskonzept mit dem Ziel erarbeitet, die Kirche dauerhaft vor weiteren Einwirkungen zu schützen. Hierzu galt es, die Bewegungen des gesamten Baukörpers mit einer Genauigkeit kleiner 3 mm zu erfassen.

Zu diesem Zweck wurde der Baukörper mit ca. 500 Punkten an den Innen- und Außenwänden im Hinblick auf eine photogrammetrische Vermessung signalisiert. In den Kirchenfenstern und Eingängen zusätzlich angebrachte Verknüpfungspunkte gewährleisteten die gegenseitige Verknüpfung des zweisechalen konvergenten Bildverbandes.

Als Paßelemente wurden Höhendifferenzen sowie Raumstrecken in die Bündelblockausgleichung eingeführt. Mit den eingesetzten Geräten Ni 002 sowie dem auf hochgenaue Streckenmessungen ausgelegte Drahtmeßgerät der Rheinisch-Westfälische Elektrizitätswerke AG /4/ wurden Genauigkeiten im 1/10 mm-Bereich erzielt (Abbildung 13).

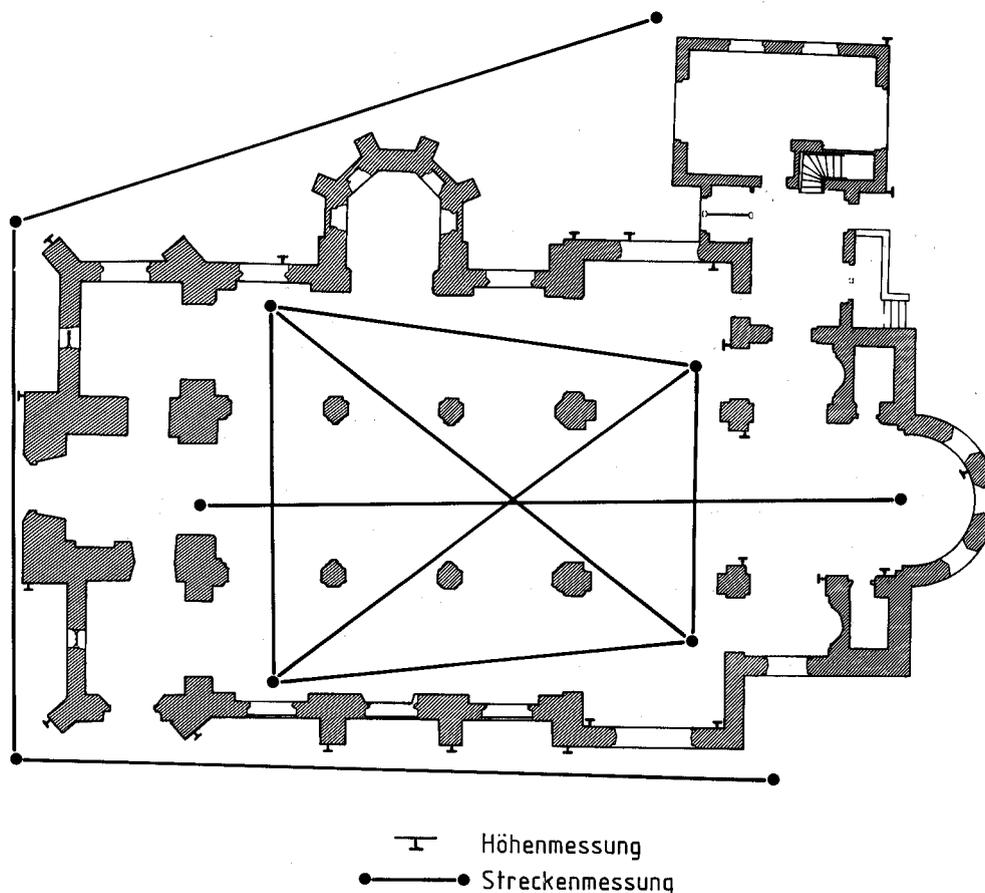


Abb. 13: Grundriß der Kirche mit Paßelementen

In Abbildung 14 ist die Aufnahmekonfiguration des äußeren Bildverbandes dargestellt. Aufgrund des starken Bewuchses im Nahfeld der Kirche waren 47 Außenaufnahmen auf 29 Standpunkten notwendig. 59 weitere Aufnahmen im Inneren der sehr engen dreischiffigen Kirche vervollständigten den zweisechalen Bildverband.

Bis heute wurden zwei Meßepochen am PK 1 ausgewertet. Das Aufnahme- und Auswertekonzept war jedesmal identisch. Für die erste Meßepoche erfolgte die Bündelblockausgleichung an der Universität Hannover mit dem Programmsystem MOR. Die zweite Meßepoche wurde mit dem Programm BINGO durchgeführt. Die berechneten Standardabweichungen betragen im Mittel:

	s_x	s_y	s_z	Programmsystem
1. Meßepoche	0.6 mm	0.6 mm	0.3 mm	MOR
2. Meßepoche	0.7 mm	0.6 mm	0.3 mm	BINGO

Die gesuchten Gebäudedehformationen wurden mit einer räumlichen Helmert-Transformation bestimmt. Die identischen Punkte lagen gleichmäßig verteilt im unbeeinflussten Gebäudeteil. An diesen Punkten traten mittlere Restklaffungen von ca. 0.4 mm in den drei Koordinatenrichtungen auf. In Abbildung 15 sind die signifikanten Lageveränderungen der Gewölbepunkte dargestellt. Die Vektoren weisen sehr anschaulich die Bewegungen im Chorbereich aus. Entsprechendes läßt sich aus den in Abbildung 16 dargestellten Höhenveränderungen ersehen.

Insgesamt wurde die Forderung, Deformationen kleiner 2 mm nachzuweisen, mit diesem Aufnahme- und Auswertekonzept deutlich unterschritten.

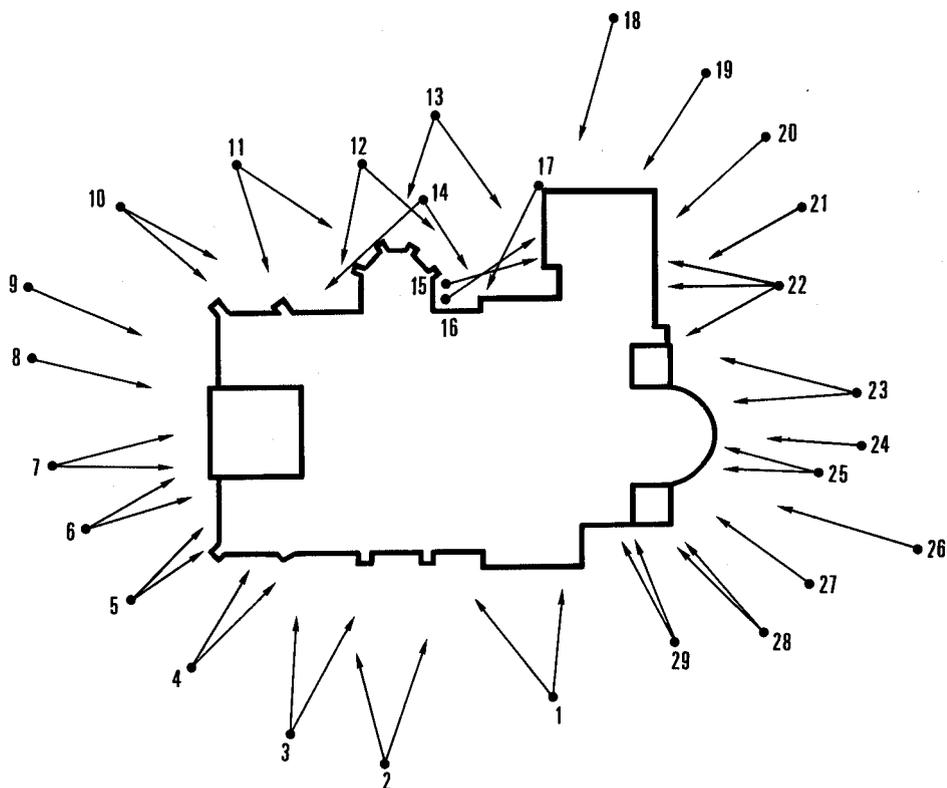


Abb. 14: Aufnahmeconfiguration des äußeren Bildverbandes

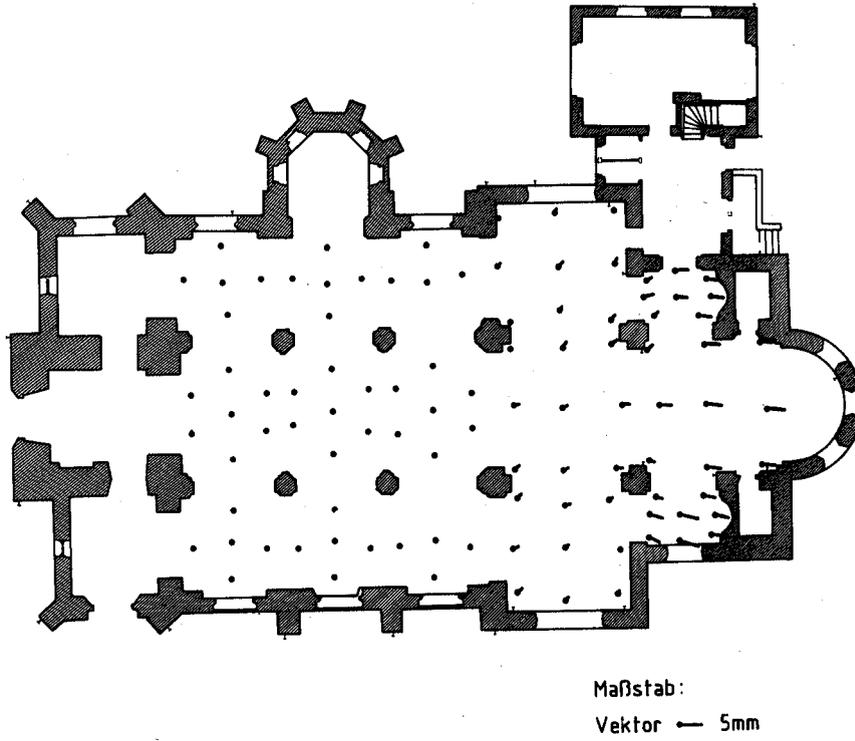


Abb. 15: Signifikante Lageveränderungen der Gewölbepunkte



Abb. 16: Signifikante Höhenveränderungen an einer Außenfront

LITERATURVERZEICHNIS

- /1/ Reichenbach, K.: Photogrammetrie im Markscheidewesen - Abriß der Anwendungen von den Anfängen bis heute. Braunkohle, 1985, Heft 10, S. 447-454
- /2/ Reichenbach, K., Schaefer, W.: Photogrammetrische Deformationsbeobachtungen an Tagebaugeräten und einem Röhrentrockner. Braunkohle, 1985, Heft 10, 1985, S. 458-465
- /3/ Schaefer, W.: Photogrammetrische Beobachtung von Bauwerksverformungen. Das Markscheidewesen, 1985, Heft 4, Seite 148-151
- /4/ Schnädelbach, K.: Neue Verfahren zur präzisen Längen- und Höhenbestimmung, Allgemeine Vermessungsnachrichten, 1980, Heft 1, Seite 2-21.

ZUSAMMENFASSUNG

Am Beispiel von vier aktuellen Anwendungsfällen wird der Leistungsstand der Nahbereichsphotogrammetrie bei Rheinbraun dargestellt. Bei signalisierten Objekten können bei Bildmaßstäben von 1 : 200 Genauigkeiten unterhalb 0.5 mm standardmäßig erzielt werden.

APPLICATIONS OF CLOSE RANGE PHOTOGRAMMETRY CARRIED OUT BY RHEINBRAUN

ABSTRACT

The potential of close range photogrammetry applications carried out by Rheinbraun is demonstrated with four topical examples. Accuracies up to 0.5 mm can be achieved with photo scales 1 : 200 using our standard procedure with convergent bundle configurations and simultaneous bundle adjustments.

Dr.-Ing. Herbert Krauß,
Ass. des Markscheidefachs Dipl.-Ing. W. Guder,
Rheinische Braunkohlenwerke AG
Abteilung Photogrammetrie
5000 Köln 41, Stüttgenweg 2