

Bauvermessung mit Argus-Augen

Matthias Fuhrland, Dresden

Das optische Hilfsmittel „Argus-Auge“ ermöglicht die tachymetrische Streckenmessung zu einem verdeckten Zielpunkt, indem es den Zielstrahl rechtwinklig ablenkt. Es werden verschiedene Anwendungsbeispiele aufgezeigt und die Brauchbarkeit getestet.

1 Das Argus-Auge

Der von der deutschen Firma Argus GeoTech GmbH entwickelte Orthogonalspiegel „Argus-Auge“ ist die hochpräzise Realisierung eines klassischen Winkelspiegels für den Einsatz bei der elektrooptischen Distanz- und Richtungsmessung. Mit dem Argus-Auge ist es beispielsweise möglich, per Tachymeter eine Strecke „um die Ecke“ zu messen und so mit hoher Genauigkeit die Koordinaten eines verdeckten Zielpunktes zu bestimmen.

Abb. 1 zeigt das graphische Funktionsmodell eines solchen Orthogonalspiegels im Gehäuse. Genau wie ein Pentaprisma hat der Orthogonalspiegel die Eigenschaft, einen auftreffenden Zielstrahl um 100 gon auszulenken, allerdings wurde der klassische Vollkörper mit den zwei nach innen gerichteten Spiegelflächen durch zwei Einzelspiegel ersetzt. Der Orthogonalspiegel hat neben Gewicht und Genauigkeit gegenüber dem klassischen Pentaprisma entscheidende optische Vorteile, da Brechung und Reflexion an den unverspiegelten Grenzflächen entfallen. Der optische und der geometrische Lichtweg sind beim Argus-Auge identisch. Die Justage-Genauigkeit der Spiegel ist laut Hersteller [1] besser als 1 mgon. Die Visiereinrichtung kann wie in Abb. 1 aus zwei Dioptern bestehen, günstiger ist aber wie in Abb. 7 die Kombination eines Diopters mit einem Pentaprisma. Letzteres hat für die exzentrische Polaraufnahme Vorteile beim Einrichten des Exzentrums, da Ziel und Tachymeter aus einer Blickrichtung anvisiert werden können.

2 Exzentrische Polaraufnahme

Das Exzentrum wird bei der polaren Aufnahme- und Messmethode immer seltener verwendet, da das Einrichten eines neuen Instrumentenstandpunktes dank der modernen Tachymeter und Totalstationen nur einen geringen Mehraufwand bedeutet. Muss man sich aber für viele Zielpunkte gesondert aufstellen, ist die Verwendung eines passiven Exzentrums in Form eines Argus-Auges sinnvoll.

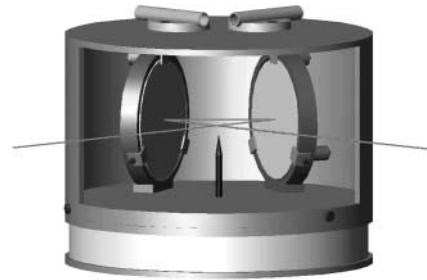


Abb. 1: graphisches Funktionsmodell

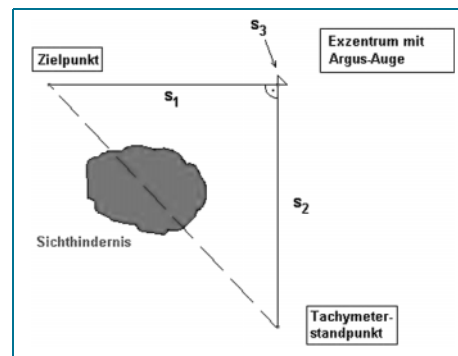


Abb. 2: Prinzip des passiven Exzentrums

Das Einsatzprinzip ist in Abb. 2 dargestellt. Im Exzentrum wird ein Tachymeterstab aufgestellt, der anstelle des üblichen Tripelprismas ein Argus-Auge trägt. Mit Hilfe der Visiereinrichtung positioniert der Benutzer das Argus-Auge so, dass Totalstation, Argus-Auge und Zielpunkt unter Sichtverbindung einen rechten Winkel einschließen. Liegt der Zielpunkt aus Sicht der Totalstation links vom Argus-Auge (Abb. 2), zielt der Diopter den Zielpunkt an.

Bei exakter Positionierung und Ausrichtung ist im Pentaprisma direkt unter dem Fadenkreuz des Diopters die Totalstation zu sehen (Abb. 3). Liegt der Zielpunkt aus Sicht der Totalstation rechts vom Argus-Auge, zielt der Diopter die Totalstation an. Bei exakter Positionierung und Ausrichtung ist im Pentaprisma direkt unter dem Fadenkreuz des Diopters der Zielpunkt zu sehen.

Die Horizontalstrecke s_2 zwischen Tachymeter und Exzentrum und deren Richtung werden durch Messung auf die am Gehäuse des Argus-Auges befindliche Rundum-Reflexfolie bestimmt. Bei Anvisierung des Zielpunktes über den Orthogonalspiegel liefert die anschließende Streckenmessung die Summe der Teilstrecken s_1 , s_2 und s_3 . Letztere entspricht der Spiegelvariablen $sv = \frac{svH_z}{\sin V}$, deren



Abb. 3: Ziel im Fadenkreuz Tachymeter im Prisma

Betrag in Abhängigkeit vom Vertikalwinkel V und der Spiegelkonstante sv_{Hz} berechnet werden kann [2]. Zieht man nun $s_2/\sin V$ und s_3 von der gemessenen Strecke ab, erhält man die Schrägstrecke s_1 , welche über den Vertikalwinkel auf eine Horizontalstrecke reduziert werden kann. Die Höhendifferenz zwischen Tachymeterkipachse und Zielpunkt erhält man, wenn man die Summe der Teilstrecken mit dem Kosinus des Vertikalwinkels multipliziert. Die Messung der Zielstrahlauslenkung im Exzentrums entfällt, da der Orthogonalspiegel den Winkel von 100 gon bereits vorgibt.

Ein entscheidender Unterschied zur normalen Messung besteht darin, dass die Anzielung im Wesentlichen durch die Person vorgenommen wird, die das Argus-Auge hält. Die Messung mit passivem Exzentrums funktioniert hervorragend, wenn der Tachymeter einen sichtbaren Laserzielstrahl besitzt, der den aktuellen Anzielpunkt markiert. Auch hochgelegene Punkte können so gut angezielt werden. Die softwareseitige Unterstützung wurde von mehreren Anbietern für Außendienst-Software bereits zugesagt.

3 Genauigkeitskriterien

Zur definierten Auslenkung eines tachymetrischen Zielstrahles ist der Orthogonalspiegel bestens geeignet, allerdings muss sichergestellt sein, dass die Spiegelflächen parallel zur Stehachse verlaufen und einen Winkel von exakt 50 gon einschließen. Abweichungen von diesen Bedingungen werden durch den vertikalen bzw. horizontalen Justagefehler (δ_V bzw. δ_{Hz}) beschrieben. Diese sollten zwar ab Werk höchstens eine Bogensekunde betragen, aber nachträgliche Dejustage durch Stoß oder extreme Temperaturschwankungen kann nicht ausgeschlossen werden. Für den alltäglichen Einsatz ist es deshalb ratsam, den Orthogonalspiegel in regelmäßigen Abständen zu überprüfen und gegebenenfalls nachjustieren. Die Prüfung kann mit Hilfe zweier Theodolite im Feldverfahren erfolgen [3]. Argus GeoTech bietet auch einen Justage- und Kalibrier-Service an.

Weiterhin muss sichergestellt werden, dass der Orthogonalspiegel richtig zum Tachymeter ausgerichtet ist, um

Koordinatenfehler durch die Exzentrizität des Strahlenschnittpunktes zu vermeiden. Abb. 4 verdeutlicht den Zusammenhang von Ausrichtungsfehler und Koordinatenfehler. Unter der Annahme, dass die Visur zur Stehachse erfolgt, liegt auch der Strahlenschnittpunkt bei korrekter Ausrichtung des Orthogonalspiegels in der Stehachse. Bei horizontaler Verschwenkung um den Winkel α verschiebt sich der Strahlenschnittpunkt um den Betrag der horizontalen Exzentrizität Δx , woraus auch ein deutlich kleinerer Querfehler Δy resultiert. Sollte $\delta_{Hz} \neq 0$ sein, dann verlaufen die ausfallenden Strahlen auch parallel, allerdings nicht mehr rechtwinklig zum einfallenden Strahl, sondern um $2 \cdot \delta_{Hz}$ abweichend davon.

Die fehlerfreie Berechnung der Spiegelvariablen setzt voraus, dass der Tachymeter exakt die Stehachse des Argus-Auges anzielt, was durch eine gut sichtbare Zentrierspitze erleichtert wird. Sieht der Beobachter beide Bilder der Zentrierspitze übereinander, dann ist der Orthogonalspiegel gut ausgerichtet. Zusätzlich ist das Gehäuse des Argus-Auges mit der bereits erwähnten Visiereinrichtung ausgestattet, damit Tachymeter und Zielpunkt vom Exzentrums aus gut anvisiert werden können.

Horizontierungsfehler des Orthogonalspiegels wirken sich in erster Linie auf den Vertikalwinkel des Zielstrahles zwischen Orthogonalspiegel und Zielpunkt aus. Da die Reduktion der Schrägstrecke mit dem vom Tachymeter gemessenen Vertikalwinkel erfolgt, wirkt sich die fehlerhafte Horizontierung nicht nur auf die Höhenkoordinate aus, sondern vorwiegend bei steilen Zielungen auch auf die Horizontalstrecke zwischen Orthogonalspiegel und Zielpunkt. Bei flacher Zielung ist der Einfluss auf die Lagekoordinaten vernachlässigbar. Ist die Höhenkoordinate des Zielpunktes genau zu bestimmen, reicht bei großen Exzentren eine Horizontierung des Argus-Auges mit Hilfe einer Dosenlibelle meist nicht aus. Für den unten beschriebenen Einsatz in Kombination mit Bau- und Rotationslasern ist die Horizontierung mittels Röhrenlibelle empfehlenswert.

4 Architekturvermessung

Das Einsatzpotential des Argus-Auges bei der Architekturvermessung soll an verschiedenen Beispielen gezeigt

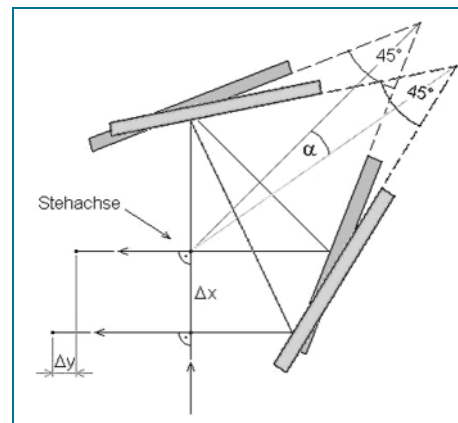


Abb. 4: Wirkung des Ausrichtungsfehlers

werden. Die wichtigsten Einsatzmöglichkeiten sind exzentrisches Abstecken von Orientierungspunkten und Aufnahme von verdeckten Objektpunkten im Innen- und Außenraum von Bauwerken. Der entscheidende Vorteil liegt in der Einsparung von Tachymeterstandpunkten. Das Prinzip wurde an der TU Dresden bei der tachymetrischen Bestandsaufnahme des Hülse-Baus getestet. Das sechsgeschossige ehemalige Gefängnisgebäude besteht aus vier kreuzförmig angeordneten Seitenflügeln, die durch ein großes offenes Treppenhaus verbunden sind (siehe Abb. 5). Es bestehen freie Sichten zwischen jeweils entgegengesetzten Flügel-Enden. Mit je einer Instrumentenaufstellung für Nord-Süd-Achse und Ost-West-Achse wurden durch Verwendung eines Argus-Auges vom Mittelgang aus in jedem Raum und an den Wänden des Mittelganges Orientierungspunkte geschaffen. Für die Aufnahme der Räume konnte dadurch gänzlich auf zwangszentrierte Orientierungspunkte verzichtet werden. Die temporäre Vermarkung erfolgte durch Klebezettel (Tesa-krepp) mit Nummer und Strichkreuz bzw. selbstklebende Zielmarken an den Wänden, die jeweils im Zentrum des beliebig an die Wand projizierten, sichtbaren Laserspots platziert wurden. Somit beschränkte sich der exzentrische Anzielvorgang bei der reflektorlosen Einmessung der Orientierungspunkte auf das Anzielen des Argus-Auges und den gesamten Vorgang hätte ein Beobachter allein durchführen können. Durch die Verwendung des Argus-Auges konnten 40 von 116 Instrumentenaufstellungen pro Etage eingespart werden, die allein für das Einmessen von Orientierungspunkten oder polaren Anhängen notwendig gewesen wären. Der Vorteil liegt hier weniger in der Einsparung von Zeit als viel mehr in einer Flexibilisierung des Arbeitsablaufes, denn die Orientierungsmessungen und das Aufmessen der Räume können gänzlich voneinander getrennt ablaufen. Außerdem werden weniger Stative benötigt.

In einem zweiten Test wurde für Teile des Erdgeschosses des Schumann-Baus der TU Dresden ein detaillierter Bestandsplan tachymetrisch erstellt. Das Gebäude ist im Innen- und Außenbereich stark gegliedert und verwinkelt, so dass der vermessungstechnische Aufwand zur Erstellung eines Bestandsplanes enorm hoch wäre. Stationierung und Orientierung des Tachymeters erfolgte sowohl durch zwangszentrierte Punkte, als auch durch temporäre Wandmarken, die mit Hilfe eines Argus-Auges gesetzt wurden. Durch die Nutzung des Argus-Auges konnte ein Drittel der Instrumentenaufstellungen eingespart werden. Das reflektorlose Aufmessen einfach strukturierter Räume konnte mit Hilfe des Argus-Auges vom Korridor aus erfolgen, so dass der Tachymeter in diesen Räumen nicht aufgestellt werden musste. Anstatt Eckpunkte direkt anzuzielen, reichte es oftmals aus, jeweils zwei beliebige Punkte der Innenwände aufzumessen und die Raumgeometrie anschließend im CAD graphisch herzustellen. Im Außenbereich des Gebäudes wurden weitere Standpunkte eingespart, indem verdeckte Objektpunkte, wie z.B. Kanten und Wandnischen, aber auch Tordurchfahrten und Bogengänge, über Orthogonalspiegel exzentrisch aufgemessen wurden. Allein bei der stark strukturierten Außenfassade (siehe Abb. 6) und den Innenhöfen wurde ca. die Hälfte aller Objektpunkte exzentrisch aufgemessen.

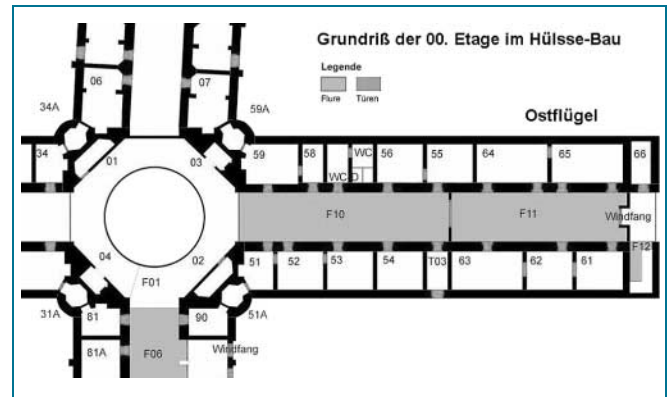


Abb. 5: Ostflügel des Hülse-Baus



Abb. 6: Aufnahme des Schumannbaus

Hier wurde durch den Einsatz des Argus-Auges effektiv Messzeit eingespart.

5 Bauwerksüberwachung

Ein weiterer Einsatzfall ist die permanente Überwachung verdeckt liegender Bauwerkspunkte auch in Kombination mit IR-Streckenmessung und anderen optischen Verfahren (z.B. Interferometrie). [4] setzten zur hochauflösenden Überwachung von Bauwerksbewegungen historischer Kirchen indirekte Winkel und Streckenmessung ein. Grundlage war ein online Monitoringsystem auf Basis eines motorisierten Präzisionstachymeters. Bei fehlender Sichtverbindung des Tachymeters zu den Reflektoren wurde der Zielstrahl mittels eines Vorderflächenplanspiegels umgelenkt. Die Bewegung des indirekt beobachteten Reflektors wurde über Vektorrechnung abgeleitet und in Form dreidimensionaler Koordinatenunterschiede dargestellt. Ein ähnliches an der TU Dresden entwickeltes Konzept zur Ermittlung verschiedener Deformationsgrößen in der Klosterkirche in Magdeburg beinhaltet ebenfalls ein zeitweilig einzurichtendes Monitoring-System auf Basis eines selbstzielenden Tachymeters. Da nicht alle Punkte von einem Standpunkt aus sichtbar sind, sollen hier aber zwangszentrierte Argus-Augen eingesetzt werden, um zwei der anzuvisierenden Tripelprismen exzentrisch anzumessen. Vorteil gegenüber der oben beschriebenen Methode ist, dass man sofort und sehr genau die Koordinaten des Zielpunktes erhält. Vorab durchgeführte Tests ergaben, dass die automatische Zielerfassung (ATR) des verwendeten Leica TCA 2003 auch bei Visur über den

Orthogonalspiegel problemlos funktioniert. Weiterhin geplant sind Einsätze bei der automatisierten Überwachung von Talsperren, wo naturgemäß die Sichtbedingungen stark eingeschränkt sind.

In diesem Zusammenhang zu erwähnen ist, dass werksseitig prinzipiell auch andere Winkel am Argus-Auge eingestellt werden können, wobei sich natürlich auch die Spiegelkonstante ändert. Hier sind speziell auf den Anwendungsfall abgestimmte Lösungen realisierbar.

6 Schleifender Schnitt

Einen erheblichen Vorteil bringt der Einsatz des Argus-Auges bei der reflektorlosen Streckenmessung, wenn dadurch ein schleifender Schnitt zwischen Zielstrahl und Objektoberfläche vermieden werden kann. Der für eine Signalauswertung notwendige Mindestremissionswert wird bei schleifenden Schnitten oft nicht erreicht, besonders bei spiegelnden oder dunklen Objektoberflächen, obwohl die Streckenlänge noch unter der Maximalreichweite des Tachymeters liegt. Durch Verwendung des Argus-Auges kann der Auftreffwinkel des Zielstrahles auf die Objektoberfläche auf bis zu 100 gon erhöht werden. Testmessungen ergaben, dass dies in den meisten Fällen den Remissionsgrad deutlich anhebt. So macht die Verwendung eines Exzentrums Sinn, auch wenn sie im klassischen Sinne gar nicht notwendig ist. Eine praktische Anwendung findet man z.B. beim Messen von Querprofilen in engen Tunnelröhren.

7 Visualisierung von Bauachsen

Das Visualisieren rechtwinkliger oder paralleler Bauachsen mit nur einem Richtlaser ist ebenfalls eine mögliche Anwendung des Argus-Auges. Ist der Richtlaser in einer Bauachse eingerichtet und sind die Achsenschnittpunkte abgesteckt bzw. markiert, dann muss das Argus-Auge nur gemäß Abschnitt 2 auf dem jeweiligen markierten Achsenschnittpunkt aufgestellt, horizontalisiert und in Höhe und Horizontalrichtung ausgerichtet werden. Durch Verwendung mehrerer Argus-Augen nacheinander können parallele Bauachsen angezeigt werden. Die Horizontalisierung mit Röhrenlibelle ist nur notwendig, wenn alle Achsen in einer Höhe angezeigt werden sollen. Ansonsten reicht die Horizontalisierung mit Dosenlibelle aus, da die Horizontalrichtung des ausgelenkten Strahls nur von der Justagegenauigkeit δ_{Hz} der Spiegel abhängt. Eine möglicherweise interessante Anwendung ist die Kontrolle von Schnurgerüsten und abgesteckten Achsen.

8 Nivellement

Setzt man das Argus-Auge in Kombination mit einem Rotationslaser ein, kann man die horizontale Laserebene auch in verdeckte Bereiche übertragen und spart somit zusätzliche Aufstellungen des Rotationslasers. Die Horizontalisierung mit Röhrenlibelle ist hier empfehlenswert, auch wenn die Genauigkeitsforderungen z.B. im Garten- und



Abb. 7: Argus-Auge auf Prismenträger

Wegebau nur im Bereich von 1–2 cm liegen. Der Fachhandel bietet hierfür drehbare Prismenträger mit integrierten Röhrenlibellen an (siehe Abb. 7). Weiterhin hilfreich, wenn auch nicht notwendig, ist der Einsatz eines Kurbelstativs, um das Argus-Auge auf die Höhe des Lasers zu bringen.

Der durch den reflektierten Strahl abdeckbare Winkelbereich hängt wegen der auf ca. 55 cm begrenzten Apertur des Argus-Auges wesentlich von der Entfernung zwischen Rotationslaser und Argus-Auge ab. Bei Aufstellung des Rotationslasers und des Argus-Auges an den Ecken einer Stirnseite lassen sich Vorder- und Rückseite eines langgestreckten Gebäudes mit einer Aufstellung des Rotationslasers abdecken. Bei Vorhandensein von Wandnischen oder anderen abgeschatteten Bereichen lassen sich diese durch Umstellen des Argus-Auges ausleuchten. Dieser Vorgang ist schneller zu bewerkstelligen als das Umstellen des Rotationslasers und mindestens so genau wie selbiges.

Abschließend bleibt festzustellen, dass mit dem Argus-Auge ein Werkzeug zur Verfügung steht, dessen Einsatz im Bereich der Bauvermessung deutliche Arbeitserleichterungen, Zeit- und Kosteneinsparungen bewirken bzw. den Arbeitsablauf flexibler gestalten kann. Inwieweit Einsätze bei der Positionierung oder Messung von Laserscannern oder -trackern sinnvoll sind, soll Gegenstand weiterer Untersuchungen sein.

Literatur

- [1] www.argus-geotech.de
- [2] FUHRLAND, M.: Das passive Exzentrum -Streckenmessung um die Ecke, Vermessungsingenieur Heft 6/2004
- [3] FUHRLAND, M.; NEUMANN, G.; SCHMIDT, J.: Kalibrierung eines Orthogonalspiegels, AVN Heft 1/2005
- [4] STEMPFHUBER, W.; ZINSBERGER, S.; Bergmann, N.: Online Monitoring historischer Kirchen mit einem Präzisionstachymeter mittels reflektorloser, direkter oder indirekter Winkel- und Streckenmessung, Ingenieurvermessung 2004, ETH Zürich, S. 432–436

Anschrift des Verfassers:
Dipl.-Ing. MATTHIAS FUHRLAND
TU Dresden, Geodätisches Institut
D-01062 Dresden
e-mail: Matthias.Fuhrland@tu-dresden.de

Zusammenfassung

Das Argus-Auge ermöglicht die tachymetrische Streckenmessung zu einem verdeckten Zielpunkt, indem es den Zielstrahl rechtwinklig auslenkt. In diesem Beitrag werden Prinzip und Genauigkeitskriterien der exzentrischen Polaraufnahme mit dem Argus-Auge erläutert und an der TU Dresden getestete Anwendungsbeispiele zu Architekturvermessung, Bauwerksüberwachung, Messung bei schleifendem Schnitt, Visualisierung von Bauachsen und Nivellement gezeigt.

Summary

The Argus-Eye enables direct ranging to hidden points with a total station by deviating the ray of sight rectangular. In this article the principle and the accuracy criteria of eccentric polar measurement using the Argus-Eye will be explained. Application examples tested at the Technical University Dresden concerning architectural surveying, construction monitoring, measurement under acute section angles, visualisation of construction axes and levelling will be shown.