

Softwareunterstützte Lehre in Photogrammetrie mit PhoX

THOMAS LUHMANN¹

Zusammenfassung: Bei der Photogrammetrie handelt es sich um ein komplexes Fachgebiet in der Hochschullehre, besonders auf den Gebieten der Geodäsie, Geoinformation und Messtechnik, wo hochqualitative Ergebnisse gefordert werden. Vermehrt sind Blackbox-Lösungen für 3D-Bildbearbeitung und Punktwolkengenerierung verfügbar, die sehr einfach Ergebnisse erzeugen, z.B. durch Structure-from-Motion-Ansätze. In diesem Zusammenhang muss der klassische Ansatz Photogrammetrie zu lehren (z.B. mit Schwerpunkt auf Luftbild-Stereophotogrammetrie) reformiert werden, um Studierende und Anwender/Fachleute mit neuen Inhalten weiterzubilden und ihnen mehr Hintergrundwissen zu bieten. Seit etwa 20 Jahren wird in der Photogrammetriausbildung an der Jade Hochschule in Oldenburg Software für die digitale Photogrammetrie eingesetzt, die individuelle Übungen, Genauigkeitsanalysen der Ergebnisse und ein umfangreiches Tool-Angebot zur Visualisierung nahezu aller Standardfragen in der Photogrammetrie liefert. Während der letzten Jahre wurde daraus das Softwarepaket PhoX weiterentwickelt, das Teil eines neuen didaktischen Konzeptes in Photogrammetrie und verwandten Gebieten ist. Ferner dient es auch als Analysewerkzeug in aktuellen Forschungsprojekten. PhoX besteht aus einer projektbezogenen Datenstruktur für Bilder, Bilddaten, Messpunkten und -Merkmale und 3D-Objekten. Es bietet Werkzeuge für nahezu alle wesentlichen photogrammetrischen Messungen, Bildbearbeitung, Transformationen, grafische Analysefunktionen, Simulationen und mehr.

Studierende nutzen das Programm mit vorgegebenen Übungen und Daten, wobei sie die Möglichkeit haben, die Ergebnisse ausführlich zu analysieren. Darin sind die Analyse von statistischen Qualitätsmerkmalen, aber auch die Bedeutung von Transformationsparametern, Rotationsmatrizen, Kalibrierungs- und Orientierungsparametern enthalten. Als ein spezifischer Vorteil erlaubt PhoX die interaktive Modifikation einzelner Parameter und die direkte Ansicht auf das Ergebnis im Bild- oder im Objektraum.

1 Einleitung

Der Autor lehrt die Fächer Photogrammetrie, digitale Bildverarbeitung, Fernerkundung und Computergrafik seit mehr als 20 Jahren. In dieser Zeit ist die technologische Entwicklung in der Photogrammetrie dramatisch fortgeschritten. Im Besonderen hat die Verfügbarkeit digitaler Bilddaten, der Automationsgrad in digitaler Bildmessung, Kalibrierung, Orientierung und Matching ein sehr hohes Niveau erreicht. Folglich werden heutige Studierende mit mehr oder weniger automatisierten Blackbox-Systemen konfrontiert, in denen die internen Prozessschritte dem Nutzer verborgen bleiben. Andererseits werden die modernen jungen Menschen überflutet von digitalen Daten, und sie erwarten in vielerlei Hinsicht voll-automatisierte Verfahren. Weltweit kann unter den Studenten eine Endverbraucher-Mentalität beobachtet werden.

Die Lehrerfahrungen des Autors in Photogrammetrie schließen Bachelor- und Master-Vorlesungen sowie spezielle Fortbildungsseminare für Berufstätige ein. Eine große Themenauswahl ist in internationalen Lehrbüchern zusammengefasst, z.B. LUHMANN et al. (2014). Der vor-

¹ Jade Hochschule Oldenburg, Institut für Angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik, Ofener Straße 16/19, D-26121 Oldenburg, E-Mail: thomas.luhmann@jade-hs.de

liegende Beitrag ist eine aktualisierte und übersetzte Fassung der Publikation von LUHMANN (2016).

Die Ausbildung künftiger Ingenieure soll verschiedene gegensätzliche Qualitäten und Fähigkeiten berücksichtigen. Einerseits sollen Ingenieure in der Lage sein, neue Systeme zu bedienen und Werkzeuge zu kennen, um Projekte mit großen Datenmengen zu managen. Weiterhin sollen sie fähig sein, neue Technologien im Sinne ökonomischer und technologischer Leistungsfähigkeit angemessen einzusetzen. Andererseits sollen die Ingenieure ein profundes Verständnis für Algorithmen und Abhängigkeiten zwischen den verschiedenen Phasen in der Softwareverarbeitung haben, und sie sollen Fehler, Schwachstellen in den Projekten oder Potentiale für Verbesserungen identifizieren können. In diesem Konflikt, der nicht nur eine Herausforderung für den Lehrenden ist, neigen die Studierenden gewöhnlich dazu, sich auf automatische Lösungen zu konzentrieren, anstatt den mühsamen Weg des gründlichen Verstehens und der Analyse zu wählen. E-Learning-Werkzeuge in den Geoinformationswissenschaften finden hauptsächlich in Fernerkundung und GIS-Technologien Anwendung. In der Photogrammetrie existieren für Ausbildungszwecke nur wenige Software-Systeme. Beispiele sind ARPENTEUR (GUSSENMEYER et al. 2002), GRAPHOS (GONZALEZ-AGUILERA et al. 2015) oder E-Foto (RIBEIRO et al. 2014). In diesem Zusammenhang wurde das Software-Paket PhoX entwickelt, um ein Werkzeug für das Selbststudium, Tests und Übungen mit realen photogrammetrischen Daten zur Verfügung zu stellen. PhoX ermöglicht die Verarbeitung nahezu aller Bilder, vom gescannten oder digitalen Luftbild bis zu Fernerkundungsbildern. Der Hauptzweck des Programms liegt in der Datenanalyse, interaktiven Bildmessungen, Simulationen und Visualisierungen der Ergebnisse. Eine praxistaugliche Produktion ist nicht vorgesehen, obwohl es teilweise möglich wäre.

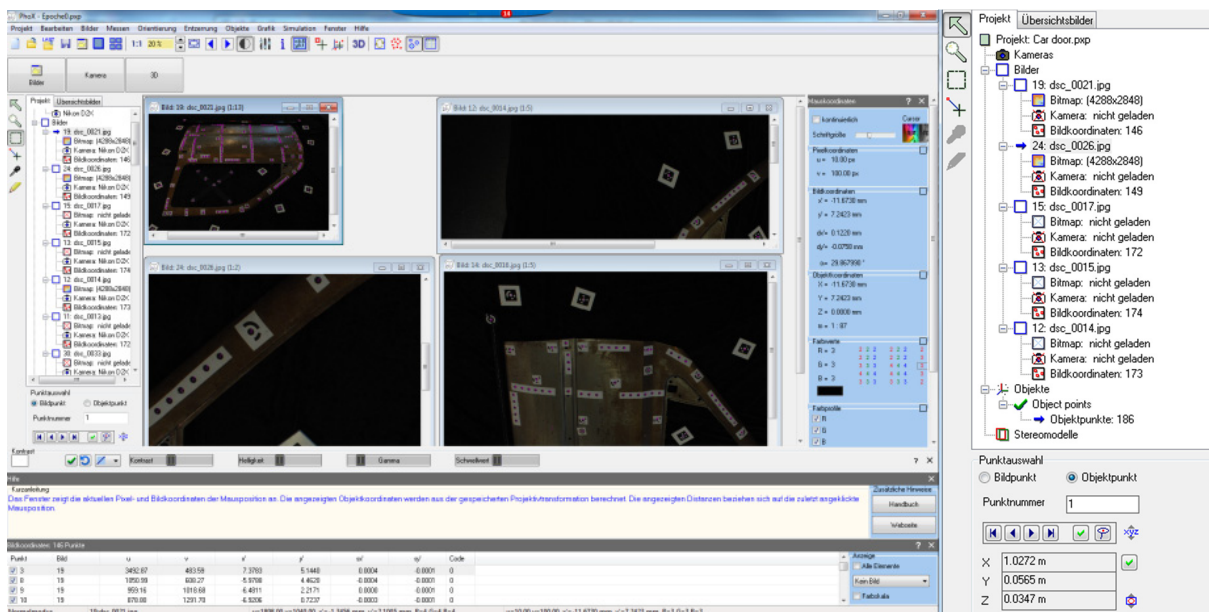


Abb. 1: Programmoberfläche von PhoX

Abb. 2: Projektbaum mit Bildern und Objekten

PhoX steht derzeit mit deutscher und englischer Benutzeroberfläche zur Verfügung (Abb. 1). Kurze Soforthilfeanleitungen können in jeder Phase des Programms kontextsensitiv abgerufen werden. Eine ca. 250seitige Bedienungsanleitung in Deutsch ist erhältlich. Individuelles Lehrmaterial (im PDF-Format) kann verknüpft und mit jeder Menü-Funktion dargestellt werden. Zusätzlich gibt es eine Anzahl vordefinierter Bedienungshilfen, die den Nutzer durch verschiedene Phasen der Verarbeitung leiten. Sie können durch den Nutzer modifiziert oder erweitert werden. Dieselbe Idee wird genutzt, um Übungsmodule für bestimmte Aufgabenstellungen der Photogrammetrie bereitzustellen.

2 Programmstruktur

2.1 Mehrbildansatz

PhoX basiert auf einem projektorientierten Mehrbild- und Multiobjektansatz für das Datenmanagement (Abb. 2). Die Bilder werden als logische Objekte organisiert, die Kalibrierungs- und Orientierungsdaten, Bildpunkte und Konturen, Bildsequenzen und Metadaten enthalten. Bitmaps sind nicht erforderlich, da die photogrammetrische Verarbeitung auch möglich ist, wenn keine Bitmaps gespeichert sind. Vorhandene Bitmaps können in Bildfenstern dargestellt werden, die jederzeit entfernt oder wiedergeladen werden können, um bei großen Bilddatensätzen Speicherplatz zu sparen. Neben Bildern können mit PhoX 3D-Objekte erzeugt und verwaltet werden. Ähnlich wie bei Bildobjekten kann eine unbeschränkte Zahl von 3D-Objekten eingeführt werden. Jedes 3D-Objekt wird als räumlicher Körper mit Koordinaten, räumlichen Transformationsparametern, Polygonen (topologische Verbindungen von Objektpunkten), Punktwolken und Triangulationsknoten betrachtet.

2.2 Import- und Exportfunktionen

Bitmaps können in allen gängigen Formaten geladen und gespeichert werden. Bilddaten wie innere und äußere Orientierungsdaten können in verschiedenen Formaten importiert oder exportiert werden, z.B. Leica LPS, INPHO, AICON, iWitness, PhotoScan, Pix4D und beliebige freie Textformate.

3 Bildmessung

3.1 Digitale Bildverarbeitung und -analyse

PhoX stellt eine große Auswahl an Bildanalyse- und Bildbearbeitungswerkzeugen bereit. Die Bildanalyse beinhaltet u.a. das interaktive Messen von Farbprofilen, Berechnung von Histogrammen oder die Darstellung von Pixel-, Bild- und Objektkoordinaten der Cursorposition. Die Bildbearbeitungsmethoden enthalten alle üblichen Kontrast- und Gammakorrekturen, Glättung, Schärfung oder Kantenfilter, Farbbearbeitung und mehr. Diese Funktionen verändern nicht die Bildgeometrie, können also auf kalibrierte Bilder in einem photogrammetrischen Prozess angewandt werden. Bildbearbeitungsketten können festgelegt werden, in denen mehrere einzelne Verarbeitungen sequenziell durchgeführt werden. Stapelverarbeitung ist möglich für eine frei wählbare Anzahl von Bildern (Abb. 3).

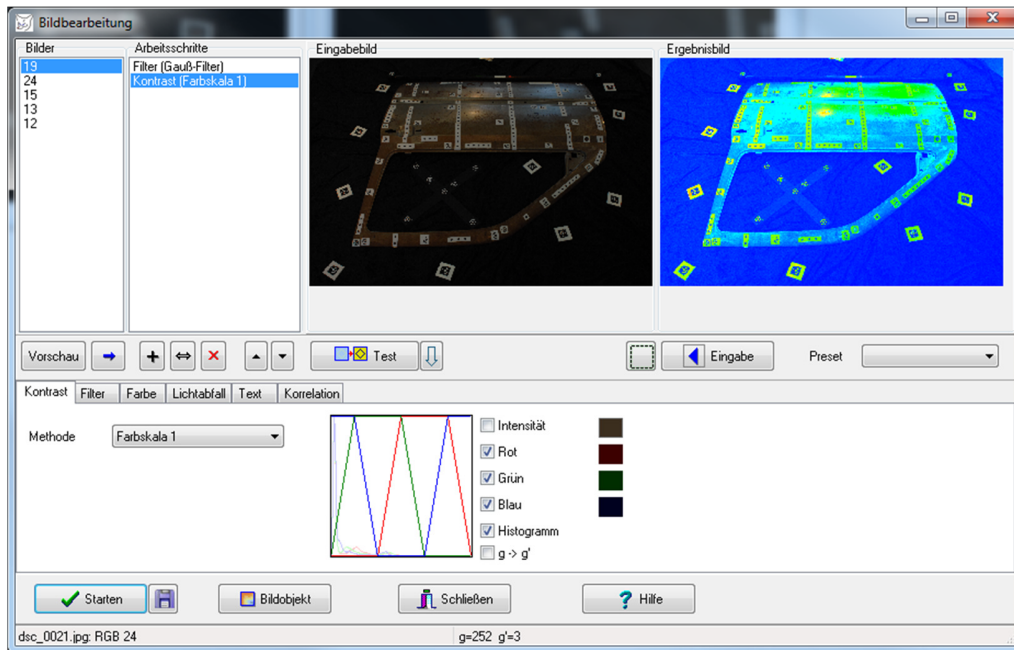


Abb. 2: Bildverarbeitungswerkzeug

3.2 Interaktive Messungen

Die interaktive Bildpunktmessung ist ein Hauptmerkmal von PhoX. Sie ermöglicht manuelle Messungen mit dem Maus-Cursor einschließlich eines Subpixel-Zooms (Abb. 4). Temporäre Gain, Offset und Gammakorrekturen können auf alle Bildfenster angewandt werden, um eine bessere Punkterkennung zu ermöglichen.

3.3 Automatische Bildmessungen

Die automatische Zielmarkenmessung wird durch die folgenden Verfahren ermöglicht:

- Schwerpunktoperator
- Ellipsen-Operator (Abb. 5)
- Template Matching
- Kreuzkorrelation

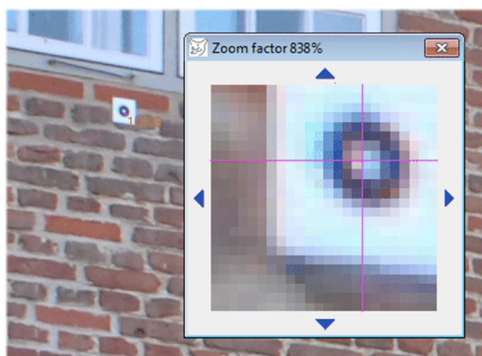


Abb. 3: Manuelle Bildmessung

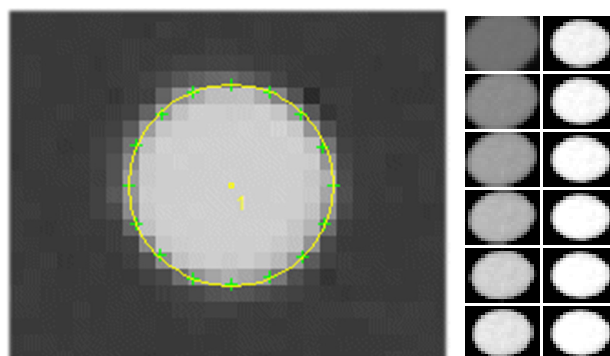


Abb. 4: Ergebnisse einer Ellipsenmessung (links) und eines Template Matchings (rechts)

Die Operatoren sind geeignet, um Markenzentren mit höchster Genauigkeit bis $1/20$ Pixel oder besser zu messen. Da sie Näherungsdaten der Markenpositionen benötigen, können diese durch Punkterkennung, Interest-Operatoren oder Rückprojektion von Objektkoordinaten bereitgestellt werden. Ein automatisches Bildmatching ist nicht enthalten, d.h. Punktnummern müssen manuell generiert werden.

4 Bildentzerrungen

4.1 Orthophotos

Die Entzerrung photogrammetrischer Bilder ist ein wesentlicher Teil in der Photogrammetrieausbildung. PhoX bietet ebene projektive Entzerrungen, Orthophotogenerierung mit Oberflächenmodellen und Entzerrung der Objektflächen mit äußeren Orientierungsdaten. Benachbarte oder überlappende Bilder können zu Bildmosaiken kombiniert werden (Abb. 6).

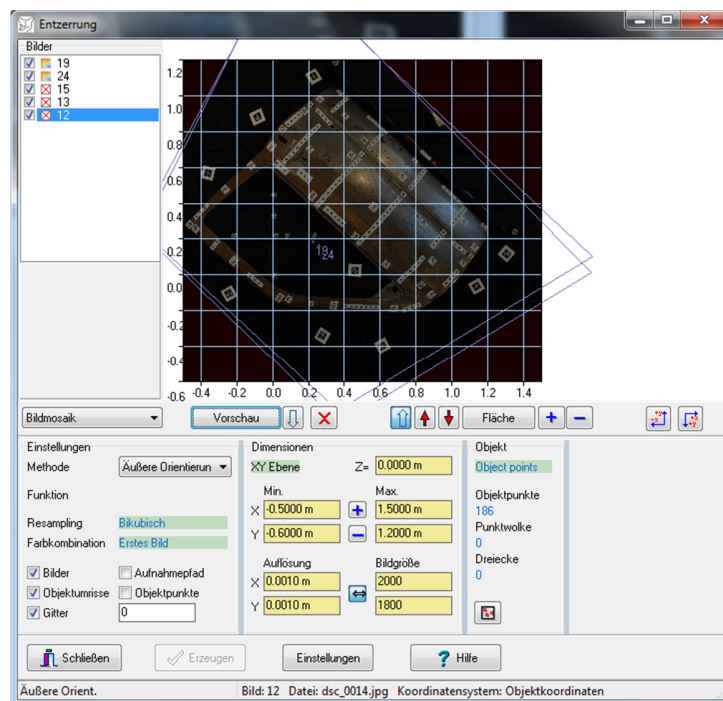


Abb. 5: Entzerrung und Mosaikbildung

4.2 Verzeichnungsfreie Bilder

Bilder mit gegebenen Parametern der inneren Orientierung können zu verzeichnungsfreien Bildern entzerrt werden. Sie werden mit derselben äußeren Orientierung wie das Originalbild, aber mit optimaler fehlerfreier innerer Orientierung erzeugt (Abb. 7).

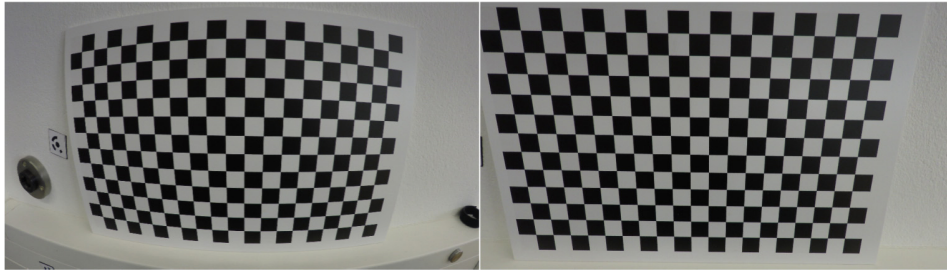


Abb. 6: Verzeichnetes (links) und verzeichnungsfreies Bild (rechts)

4.3 Stereonormalbilder

Auf der Basis einer relativen oder absoluten Orientierung eines Stereopaars können normalisierte Bilder berechnet werden (Abb. 8). Diese Bilder sind wiederum verzeichnungsfrei mit derselben Translation der äußeren Orientierung wie die Eingabebilder. Auf der Grundlage von Normalbildern können auch Anaglyphenbilder für eine externe Stereobetrachtung erzeugt werden. Der Nutzer kann interaktiv x- und y-Parallaxen einstellen, um die Auswirkung und das Ergebnis dieser Modifikationen zu beobachten.

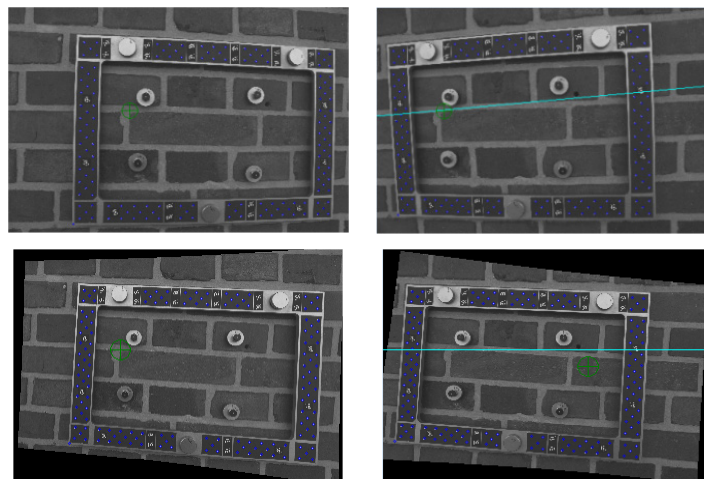


Abb. 7: Originalbildpaar (oben) und Stereonormalbild (unten) mit überlagerter Epipolarlinie

5 Kalibrierung und Orientierung

5.1 Optikberechnungen

Um ein besseres Verständnis für die physikalische Optik zu erzielen, können die Studierenden das Ergebnis einfacher geometrischer optischer Berechnungen beobachten. Parameter wie Schärfentiefe, Bildmaßstab, Bildauflösung und andere können berechnet und interaktiv verändert werden. Das Ergebnis ist unmittelbar in einer vereinfachten Linsendarstellung sichtbar (Abb.9).

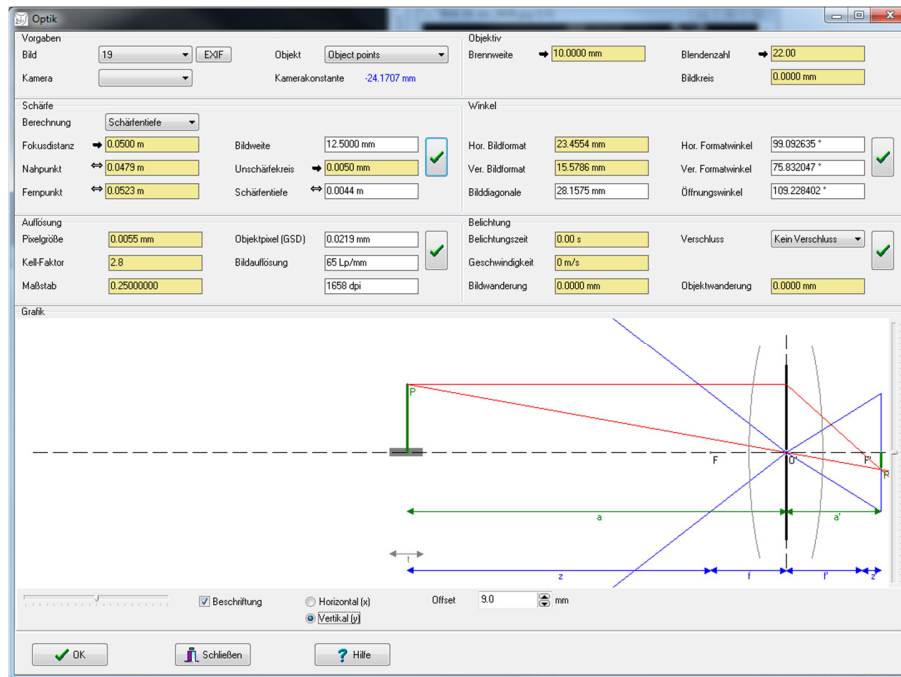


Abb. 8: Berechnung und Darstellung optischer Parameter

5.2 Kameraparameter

PhoX unterstützt den vollen Satz des inneren Orientierungsmodells (Brown-Parameter). Zusätzlich sind spezielle Modelle enthalten wie winkelabhängige Parameter, sphärische Modelle oder Lens-Map-Funktionen. Jeder Kameradatensatz wird in einer Kameradatei gespeichert, jedes einzelne Bild kann jedoch seine eigenen Parameter der inneren Orientierung besitzen.

5.3 Kalibrierverfahren

Bisher ist kein Bündelausgleichungsprogramm mit Selbstkalibrierung implementiert. Näherungsberechnungen von Parameter der inneren Orientierung werden durch erweiterten Rückwärtsschnitt oder durch DLT bereitgestellt. Es sind jedoch Importfunktionen für Ergebnisdateien verschiedener Bündelausgleichungsprogramme implementiert.

5.4 Orientierungsverfahren

PhoX bietet relative Orientierung, absolute Orientierung, Rückwärtsschnitt, DLT und 3D-Ähnlichkeitstransformationen. Jede Funktion basiert auf einer Kleinsten-Quadrate-Ausgleichung. Detaillierte Informationen zu den Ergebnissen werden jeweils in einer Protokolldatei gespeichert, die dem Nutzer zur Verfügung steht (Beispiel in Abb.10).

5.5 3D-Messungen

Gewöhnlich werden 3D-Punkte in PhoX durch räumlichen Vorwärtsschnitt generiert. Die implementierte Funktion arbeitet mit einer unbegrenzten Anzahl an Bildern in jedem beliebigen 3D-Koordinatensystem. Auch hier stehen alle Ausgleichungsparameter in einer Log-Datei.

Ist ein Oberflächenmodell gegeben (z.B. Dreiecksvermaschung), ist auch Monoplotting für 3D-Objektmessungen möglich.

Für Demonstrationszwecke kann eine räumliche 3D-Messmarke genutzt werden. Sie arbeitet nach dem Prinzip des analytischen Plotters, wobei eine gegebene 3D-Position in die Bilder zurückprojiziert wird. Der Nutzer beobachtet Parallaxen oder Abweichungen zwischen Bildern und korrigiert die 3D-Position, bis eine gute Übereinstimmung zwischen allen Bildern (auch mehr als zwei) erreicht ist.

Gemessene 3D-Punkte können zu einer 2½ Dreiecksvermaschung oder Polygonen verarbeitet werden. Einfache 3D-Modelle (z.B. Gebäudemodelle) können mit Texturen überlagert werden.

```

Iteration: 5
Zuschlag : 0.00000
Sigma 0 : 0.00233

X0 [1] : 0.00000 +/- 5.64339
Y0 [2] : 0.00000 +/- 9.95409
Z0 [3] : 0.00000 +/- 2.51305
om [4] : -0.00000 +/- 0.00032
ph [5] : 0.00000 +/- 0.00016
ka [6] : 0.00000 +/- 0.00013

Korrelationen:
X0 1.00000
Y0 0.22827 1.00000
Z0 0.73580 0.16100 1.00000
om -0.22166 -0.99810 -0.15312 1.00000
ph 0.99395 0.23051 0.72500 -0.22394 1.00000
ka 0.12566 0.89263 0.08409 -0.89277 0.13001 1.00000
      X0      Y0      Z0      om      ph      ka

Anzahl Iterationen: 5
Sigma 0: 0.0023
Anzahl Beobachtungen: 12

Transformationsparameter:
X0 =9615.29625
Y0 = 772.80942
Z0 =11882.00717
omega= 1.175859 ( 67.37174°)
phi= -1.977121 (-113.28067°)
kappa= -0.400405 (-22.94153°)
R =
-0.36397369 -0.15405947 -0.91857979
-0.93077686 0.02382638 0.36481056
-0.03431609 0.98777426 -0.15206716
    
```

Abb. 9: Protokolldatei eines räumlichen Rückwärtsschnittes



Abb. 10: Interaktive Manipulation von Orientierungswerten

6 Simulation

6.1 Interaktive Datenmanipulationen

Alle Daten in PhoX sind dem Anwender verfügbar. Konsequenterweise können einzelne Datenwerte oder Parameter interaktiv verändert werden, um deren endgültige Auswirkung zu analysieren.

Ein wichtiges Werkzeug ist die Modifikation von Parametern der inneren und äußeren Orientierung, um die dreidimensionale Auswirkung im Raum zu beobachten und die Projektion von Objektpunkten ins Bild direkt mit einem grafischen 3D-Viewer anzuzeigen. Das Werkzeug ermöglicht unerfahrenen Studierenden mit Rotationen und Daten im 3D-Raum vertraut zu werden und die Wirkung der Kollinearitätsgleichungen zu verstehen (Abb. 11).

6.2 Monte-Carlo-Simulationen

Verschiedene Werkzeuge zur statistischen Fehlerfortpflanzung nach der Monte-Carlo-Methode sind implementiert. Sie erlauben Berechnungen für die Genauigkeitsanalyse von Rückwärtschnitts, Mehrbildvorwärtsschnitt, 3D-Ähnlichkeitstransformation und 6DOF-Berechnungen. Besonders für diese komplexen 3D-Berechnungen ist die Fehlerfortpflanzung schwierig, somit eröffnen die implementierten Werkzeuge einen einfachen Weg, eine Abschätzung für die erreichbare Genauigkeit zu erzielen (Beispiel in Abb. 12).

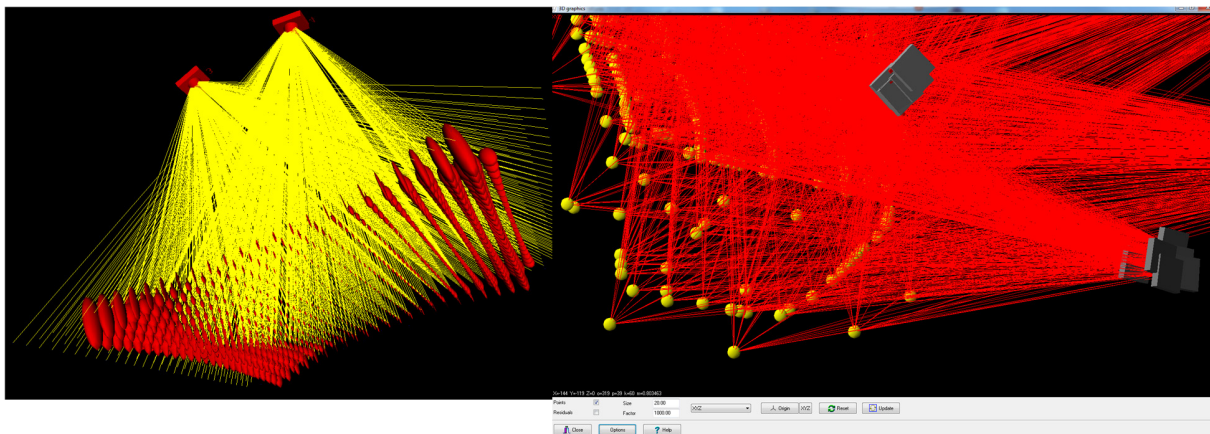


Abb. 11: Berechnung der stereoskopischen Messgenauigkeit im Objektraum durch Monte-Carlo-Simulation

Abb. 12: Interaktiver 3D-Viewer

Ergänzend kann den Bildkoordinaten und den Bildfarbwerten statistisches Rauschen hinzugefügt werden, um den Einfluss auf die Bildmessgenauigkeit zu studieren.

6.3 Synthetische Bilder

Synthetische Bilder können generiert werden, wenn Orientierungsparameter, ein 3D-Oberflächenmodell und Texturbild gegeben sind. Durch Resampling im Objektraum wird das Bild mit Farbwerten aufgefüllt. Synthetische Bilder können genutzt werden, um Referenz- oder fehlerfreie Bilder herzustellen, von denen alle Parameter bekannt sind. Ergänzend bietet PhoX eine große Auswahl synthetischer Bildmuster, darunter Siemensstern, Schachbrettmuster, Gitter, Farbkeile usw.

7 Visualisierungen

PhoX ermöglicht die Darstellung einer unbegrenzten Anzahl von Bildfenstern. Neben der Bild-darstellung werden verschiedene graphische Ausgaben ermöglicht. Für die Darstellung von 3D-Szenen mit Kamerapositionen, Objektpunkten, Oberflächen etc. ist ein integrierter 3D-Viewer verfügbar (Abb. 13). Zusätzliche können Daten im VRML-Format exportiert werden.

Verzeichnungskurven und flächenhafte Auswirkungen können dargestellt werden. Einzelne Parameter (z.B. radiale oder tangentielle Verzeichnung) können ein- und ausgeschaltet werden, um ihren individuellen Einfluss in dem Bild zu beobachten (Abb. 14).

Footprints von Bildern, die Verteilung von Bild- und Objektpunkten, Histogramme und Verteilung von Bild- und Objektresiduen, Längenmessfehler und mehr können in 2D-Diagrammen (Beispiel in Abb. 15) visualisiert und bei Bedarf nach Excel exportiert werden.

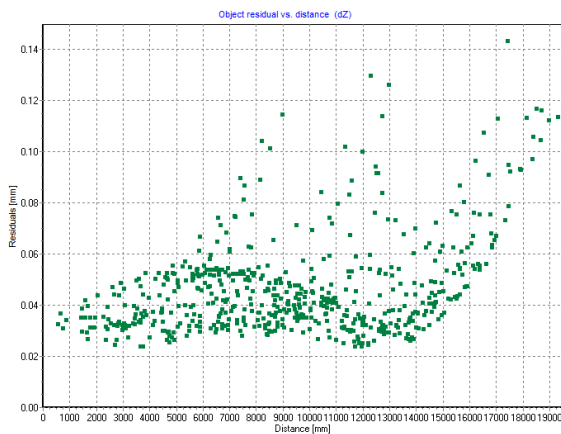


Abb. 13: Verteilung der Residuen von Objektkoordinaten als Funktion des Punktabstandes

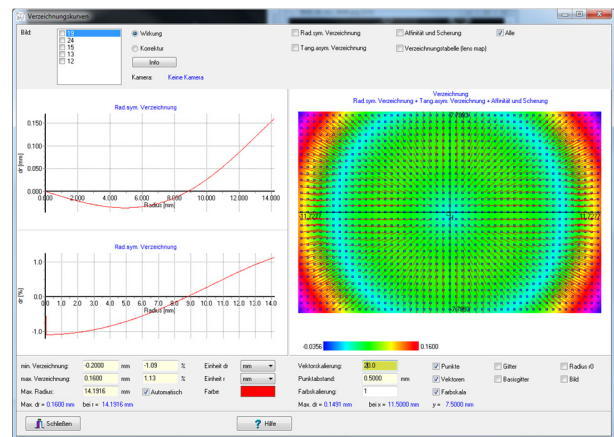


Abb. 14: Verzeichnungskurven und -diagramme

8 Didaktisches Konzept

8.1 Modulbeschreibungen

In der studentischen Ausbildung ist Photogrammetrie ein Pflichtfach. Es wird in zwei Semester-vorlesungen mit jeweils vier Semesterwochenstunden gelehrt. In Ergänzung zu den Vorlesungen müssen die Studierenden an zwei Hauptübungen teilnehmen (Abb. 16). Weiterhin müssen PhoX-Module mit zunehmender Komplexität innerhalb bestimmter Zeitvorgaben während des Semesters erfolgreich absolviert werden.

Unter anderen werden zusätzliche photogrammetrienahe Module wie „Digitale Bildverarbeitung“, „Nahbereichsphotogrammetrie“, „Ingenieurgeodäsie“, „Fernerkundung“ und „Computergrafik“ angeboten. Die Masterstudierenden können „Photogrammetrische Informationsverarbeitung“ wählen, um vertieftes Wissen in der 3D-Bildverarbeitung zu erlangen.

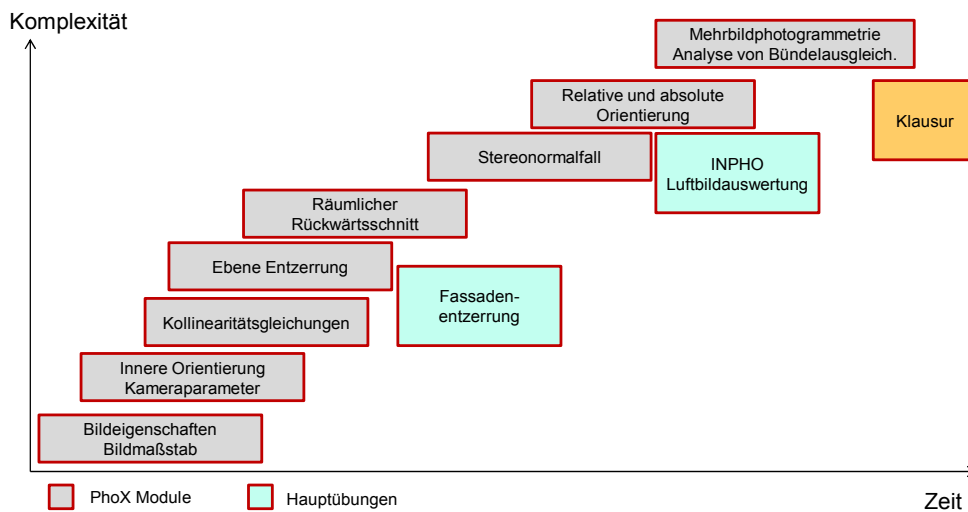


Abb. 15: Übungen im Bachelorkurs Photogrammetrie

8.2 Arbeitsablauf

Während der langen Lehrerfahrung hat der Autor ein abnehmendes Interesse der Studierenden beobachtet, Ergebnisse kritisch zu hinterfragen, eine gründliche Datenanalyse zu betreiben und sich generell mit photogrammetrischen Aufgaben zu beschäftigen.

Vor etwa drei Jahren wurde daher das Konzept in der Photogrammetrieausbildung verändert. Jetzt muss jeder Bachelor-Studierende in beiden Semestern der photogrammetrischen Lehrveranstaltungen etwa acht verschiedene Übungen mit PhoX erfolgreich abliefern (Abb. 16). Es beginnt mit einfachen Analysen von Inhalt und Eigenschaften digitaler Bilder, enthält derzeit die klassische innere Orientierung analoger Bilder, relative und absolute Orientierung, Umgang mit Kollinearitätsgleichungen, Epipolargeometrie sowie Rückwärts- und Vorwärtsschnitt.

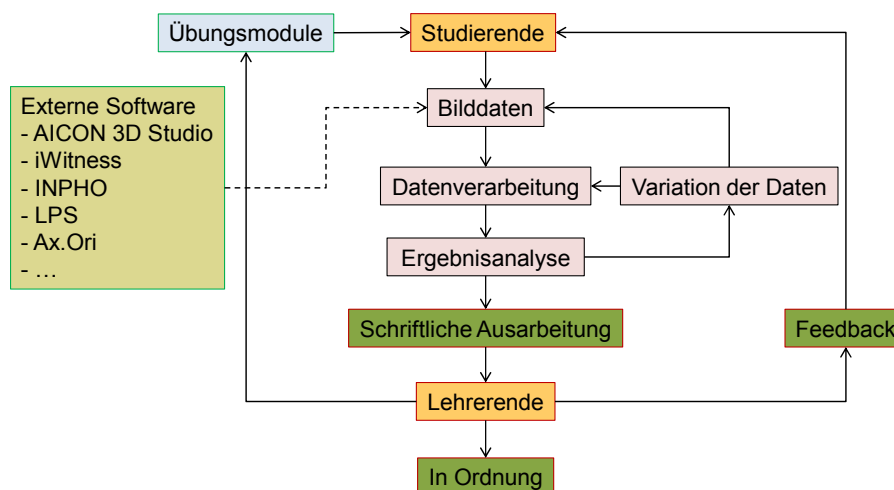


Abb. 16: Übungen im Bachelorkurs Photogrammetrie

In jeder Übung muss eine Standardaufgabe gelöst werden (Abb. 17). Anschließend müssen spezifische Versuche wie die manuelle Änderung der Eingangsdaten oder Wiederholungsmessungen

durchgeführt werden. Jeder Studierende muss eine schriftliche Übungsausarbeitung abliefern, die korrigiert und zurückgegeben wird. Ohne diese direkte Rückmeldung wäre der didaktische Erfolg gering.

Dieses neue Konzept hat dazu geführt, dass die Zahl der Studierenden, die ihre Prüfungen erfolgreich im ersten Anlauf bestehen, signifikant zugenommen hat. Als positiver Nebeneffekt kann eine bessere Beziehung zum Fach Photogrammetrie beobachtet werden.

8.3 Übungsbeispiele

Bis heute haben die Studierenden Zugang zu folgenden Übungen:

- Innere Orientierung und Pixelkoordinatentransformation
- Charakteristika von Luftbildern und Kameras
- Bildmaßstab von Luftbildern
- Ebene projektive Entzerrung
- Relative Orientierung
- Absolute Orientierung
- Kollinearitätsgleichungen
- Rückwärtsschnitt und DLT
- Stereobildverarbeitung und Epipolargeometrie
- Vorwärtsschnitt
- Analyse von Ergebnissen der Bündelausgleichung

8.4 Lehrmaterial

Für jeden Schritt verfügt PhoX über themenrelevante Hilfeinformationen. Kurzanleitungen werden im Wesentlichen für interaktive Bildoperationen bereitgestellt, während die Bedienungsanleitung eine komplette Beschreibung aller Funktionen bietet.

Vom Anwender (oder Lehrenden) können Übungsskripte editiert werden, die aus einer Sequenz vordefinierter Programmfunktionen bestehen, die der Student befolgen kann (aber nicht muss). Die gleiche Skriptsprache wird für sogenannte Assistenten genutzt, die den Anwender durch die Standardaufgaben der Photogrammetrie führen, z.B. den Ablauf einer Entzerrung.

Wenn Lehrende ihr eigenes PDF-Lehrmaterial nutzen wollen, kann dieses durch eine mit den entsprechenden Menüfunktionen verknüpfte Liste berücksichtigt werden. So können Studierende direkt innerhalb einer PhoX-Funktion auf das begleitende Lehrmaterial zugreifen.

9 Zusammenfassung

Bei der Photogrammetrie handelt es sich um ein komplexes Fachgebiet, das spezielle Anstrengungen in der Lehre erfordert. Da Studierende (und andere Anwender) sich mit Mathematik, Physik, Ausgleichsrechnung, Sensortechnologien, Bildverarbeitung, geodätischen Netzen, Genauigkeitsdefinitionen usw. auseinandersetzen müssen, sollten Lehrkonzepte die Integration verschiedenster Disziplinen in ein gemeinsames Fachgebiet vorsehen. Da Standardsoftwarepakete keine tiefgreifende Analyse von Einflüssen und Ergebnissen erlauben, versucht PhoX diese Lücke zu schließen. Die zentrale Idee von PhoX basiert auf interaktiven Prozessen und Analysen der meisten wichtigen photogrammetrischen Verfahren. Es ist weder als Werkzeug für den pro-

fessionellen Produktionseinsatz gedacht noch für eine vollständig automatisierte 3D-Objektrekonstruktion.

Allerdings ist der Einsatz einer Lernsoftware nicht sinnvoll, wenn das Lehrkonzept nicht inhaltlich darauf abgestimmt ist. Im Übrigen müssen Studierende häufig zur Durchführung von Übungen gezwungen werden, da freiwillige Angebote meistens nicht angenommen werden.

PhoX wird seit mehreren Jahren an der Jade Hochschule in Oldenburg angewandt. Es wird nicht nur Studierenden der Bachelor- und Master-Studiengänge zur Verfügung gestellt, sondern dient auch als leistungsstarkes Analysetool in Forschungsprojekten. Ferner wird es zur Ausbildung an der Kiev National University for Construction and Architecture im Rahmen einer Kooperation in Forschung und Lehre eingesetzt (KRAVCHENKO et al. 2016). Das Programm ist für akademische Zwecke kostenlos unter <https://iapg.jade-hs.de/phox/> erhältlich und wird mittlerweile in mehr als 20 Ländern eingesetzt. Es ist in deutscher und englischer Sprache erhältlich.

10 Literaturverzeichnis

- GONZALEZ-AGUILERA, D., LOPEZ, L., RODRIGUEZ-GONZALVEZ, P., GUERRERO, D., HERNANDEZ-LOPEZ, D., REMONDINO, F., MENNA, F., NOCERINO, E., TOSCHI, I., BALLABENI, A. & GAIANI, M., 2015: Development of an all-purpose free photogrammetric tool. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences **41(B6)**, 31-38.
- GUSSENMEYER, P., DRAP, P. & GAILLARD, G., 2002: ARPENTEUR 3.0: Recent developments in web based photogrammetry. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences **34(6)**, CVI.
- KRAVCHENKO, J., LUHMANN, T. & SHULTS, R., 2016: Concept and practice of teaching technical university students to modern technologies of 3D data acquisition and processing: A case study of close-range photogrammetry and terrestrial laserscanning. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences **41(B6)**, 65-69.
- LUHMANN, T., ROBSON, S., KYLE, S. & BOEHM, J., 2014: Close-Range Photogrammetry and 3D Imaging. 2nd edition, de Gruyter, Berlin, 684 p.
- LUHMANN, T., 2016: Learning photogrammetry with interactive software PhoX. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences **41(B6)**, 39-44.
- RIBEIRO, J.A., PIERROT-DESEILLIGNY, M., BRITO, J.L., BERNARDO FILHO, O. & MOTA, G.L., 2014: The Synergy of Open-Source Educational Software Development: The integration of the E-Foto and MicMac Software tools for Digital Photogrammetry. Proceedings of the 3rd Open Source Geospatial Research & Education Symposium OGRS 2014, Jolma, Ari, Sarkola, Pekka, Lehto & Lassi (eds.), 47-54.
- VYAS, A., KOENIG, G., 2014: Computer aided teaching in photogrammetry, remote sensing and geomatics – A status review. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences **40(6)**, 113-118.