

# GFaI Tagungsband 2024

AI4EA Workshop (Berlin Workshop on Artificial Intelligence for Engineering Applications)

3D-iSA (3D in Science & Applications)

# INHALTSVERZEICHNIS

GFal-Tagungsband 2024

## VORWORT

- 2 Vorwort der Workshopleitung

## PUBLIKATIONEN 3D-iSA

- 6 Reconstruct-HM3D: Providing CAD models as ground truth for the Habitat-Matterport 3D Research Dataset
- 13 3D integration of multispectral Image Data in forensic trace Recording
- 19 Automated Re-Photography: Localization of Historical Photographs for Urban Environments using Structure-Feature Based Camera Pose Estimation
- 26 Modular Target and Approach for Geometric Calibration of Multimodal Imaging Systems
- 31 Depth Completion by Colorization for Solid-State LiDAR Sensors
- 40 Digitization of the Measurement process of Staircases and Landings
- 45 Lidar-based Missing Plant Detection in Steep Vineyards
- 49 Alpha Shape For 3D Point Cloud Analysis
- 53 Automation of painting Processes for small batch Sizes: Development of a multi-camera System for real-time recording of manual spray Paths
- 58 Additively Manufactured Forging Dies with Contour-Optimized Cooling
- 66 Towards a robust automated surface inspection Method for CT-scanned Cannulas
- 71 Deflection Shape Projection for calculating similarity Measures
- 75 Online Optimization of Stereo Camera Calibration Accuracy

## PUBLIKATIONEN AI4EA

- 82 Testing ML-based Systems Using Probabilistically Extended Ontologies
- 89 Finding Predictive Features for Energy Consumption of CNC Machines
- 96 Feedback-driven Object Detection and iterative Model Improvement for accurate Annotations
- 102 Enhancing Investment Casting Quality Control: AI-Driven Defect Detection on Ceramic Shells in Investment Casting
- 111 Humanity-Centered Production – a Spotlight on Future Productivity
- 115 Optimized test case selection in a Continuous Integration process using Reinforcement Learning
- 121 Low-Cost Smart Sensor IIoT Platform for Real-Time Monitoring and Predictive Maintenance
- 130 AI-based Real-Time Analysis of Sawing Processes for the Identification of Materials
- 138 An Object-Based Approach for Classifying Flake Graphite Cast Iron Micrographs through Semantic Segmentation

## 3D-iSA

Mit großer Freude blicken wir auf die 3D in Science & Applications (3D-iSA) 2024 zurück, die am 26. und 27. November in Kombination mit der AI4EA stattfand. Als 26. Veranstaltung der Workshop-Reihe der GFal setzte die 3D-iSA die langjährige Tradition des interdisziplinären Austauschs fort und präsentierte sich dabei in einem neuen Gewand. Der neue Titel „3D in Science & Applications“ spiegelt den Anspruch wider, aktuelle wissenschaftliche Entwicklungen und anwendungsorientierte Lösungen in den Bereichen der 3D-Technologien miteinander zu verknüpfen.

Mit 13 Vorträgen in fünf thematischen Sessions bot die 3D-iSA 2024 einen umfassenden Überblick über die Vielfalt und Relevanz moderner 3D-Technologien. Rund 50 Teilnehmende aus Wissenschaft, Industrie und Praxis kamen zusammen, um sich über innovative Ansätze, methodische Fortschritte und praxisnahe Anwendungen auszutauschen. Die Beiträge spannten dabei einen weiten thematischen Bogen – von der 3D-Datenerfassung und Rekonstruktion über die Kalibrierung hochpräziser Systeme bis hin zur additiven Fertigung, Datenanalyse und Qualitätssicherung.

Ein zentrales Anliegen der 3D-iSA war es, die interdisziplinäre Vernetzung zu fördern. Insbesondere die Verbindung mit der AI4EA ermöglichte es, Synergien zwischen den Bereichen 3D-Technologien und Künstliche Intelligenz zu schaffen. Der intensive Austausch während der Vorträge und Diskussionen zeigte, wie eng diese Felder miteinander verbunden sind und welche Potenziale für die Zukunft in ihrer Zusammenarbeit liegen.

Unser besonderer Dank gilt allen, die diese Veranstaltung möglich gemacht haben: den Vortragenden für ihre spannenden und inspirierenden Beiträge, dem Programmkomitee und Organisationsteam für die engagierte Planung sowie allen Teilnehmenden, die durch ihre Fragen, Diskussionen und Anregungen den Workshop zu einem lebendigen Ort des Austauschs gemacht haben. Dank Ihnen konnte die 3D-iSA 2024 erneut zeigen, dass 3D-Technologien weit über ihre traditionellen Anwendungsfelder hinausreichen und ein wesentlicher Treiber für Innovation und Fortschritt sind.

Januar 2025

Felicitas Böhm



### Programmkomitee

Prof. Alfred Iwainsky (AI4Tech / GFal e.V.)  
Felicitas Böhm (GFal e.V.)  
Benjamin Hohnhäuser (GFal e.V.)  
Daniel Krueger (GFal e.V.)  
Prof. Frank Neumann (Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin)  
Prof. Holger Schlingloff (Humboldt-Universität zu Berlin)

# Modulares Target und Ansatz für die Geometrische Kalibrierung multimodaler Bildgebungssysteme

Evgeny Degtyarev, David Reese, and Rico Nestler

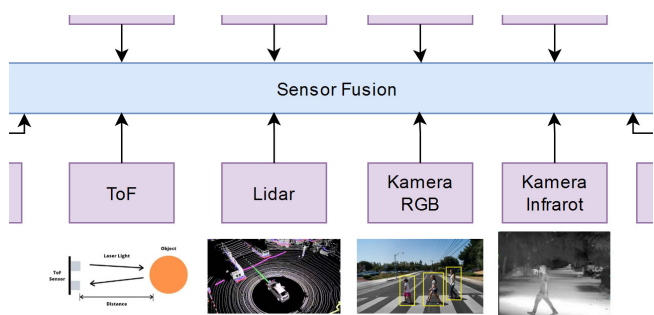
Zentrum für Bild- und Signalverarbeitung e. V.,  
Werner-von-Siemens-Straße 12, 98693 Ilmenau

evgeny.degtyarev@zbs-ilmenau.de, david.reese@zbs-ilmenau.de, rico.nestler@zbs-ilmenau.de  
www.zbs-ilmenau.de

**Zusammenfassung:** Bei der targetbasierten multimodalen 2D- und 3DSensorkalibrierung werden meist ebene, oft modenspezifische Kalibrierobjekte (Targets) verwendet, die vor einer Bildsensoranordnung orthogonal positioniert werden müssen. Diese Vorgehensweise stellt im Fall eines gemeinsam genutzten Kalibrierobjekts jedoch eine Herausforderung dar, da die einzelnen Bildgebungen oft individuell deutlich zum Target geneigt sind. Der vorliegende Beitrag widmet sich der Konzeption und Umsetzung eines modularen, multimodal nutzbaren Targets, mit dem dieses Problem überwunden, die allgemeine Kalibrierungsgenauigkeit verbessert und der multimodale Kalibrierprozess vereinfacht werden soll. Das vorgeschlagene Target integriert mehrere Funktionen, um eine Nutzung durch verschiedene Bildgebungsverfahren, z.B. RGB, TOF, Thermografie, sowohl für die intrinsische als auch die extrinsische Kalibrierung zu ermöglichen. Es umfasst planare Muster, geometrische Elemente und modulare 3D-Primitive, die am Target angebracht oder von ihm entfernt werden können, um ausreichende, robuste und betrachterunabhängige geometrische Merkmale für verschiedene Arten der Bildgebung zu bieten. Die Targetmodularität ermöglicht die gleichzeitige Kalibrierung von 2D und 3D-Sensorsystemen verschiedener Bildmodalitäten und löst damit die üblichen Herausforderungen bei der multimodalen Datenfusion und Sensorausrichtung. Der Beitrag beschreibt die Konstruktionsprinzipien eines multimodalen Targets und demonstriert die Anwendung des Targets innerhalb einer automatisierten Kalibrierungspipeline für die extrinsische Kalibrierung von multimodalen Kamera-Setups.

## 1 MOTIVATION

Die zunehmende Integration verschiedener bildgebender Sensortechnologien in modernen technischen Systemen erfordert präzise und effiziente Kalibrierungsmethoden, um geometrische Bezüge zwischen den erfassten Daten herstellen und nutzen zu können. Traditionelle, targetbasierte Ansätze sind allgemeiner Stand der Technik, aber für spezifische Bildgebungen optimiert. Aktuelle Entwicklungen in der targetlosen geometrischen Kalibrierung, insbesondere auch KI-basierte Ansätze, bieten vielversprechende neue Möglichkeiten der Nutzung auch für unterschiedliche Bildprinzipien, können häufig aber nur der Nachführung einer klassischen initialen Kalibrierung dienen.



**Abb. 1:** Prinzip der multimodalen Sensordatenfusion durch extrinsische geometrische Kalibrierung von bildgebenden RGB-, Infrarot- und 3D-Sensoren.

Vor dem Hintergrund eines steigenden Bedarfs an universellen, multimodal nutzbaren Kalibrierlösungen widmet sich dieser Beitrag der Entwicklung und Implementierung eines Kalibrierverfahrens für die gleichzeitige extrinsische Kalibrierung von unterschiedlichen 2D- und 3D-Bildgebungsprinzipien. Eine präzise extrinsische Kalibrierung ist erforderlich, um die relative Lage (Pose) der Sensoren in der Welt und zueinander korrekt zu bestimmen. Hierzu ist ein spezielles Target zu entwerfen, das für alle Bildgebungen geeignet ist. Die Eignung beinhaltet die Bereitstellung von nutzbaren Merkmalen in Targetabbildern in einer hinreichenden Zahl, um eine präzise Kalibrierung zu ermöglichen. Von diesen Anforderungen werden die Gestaltungsmöglichkeiten des Targets und die Auswahl von und Verbindung mit nutzbaren Algorithmen zur Bildauswertung und Kalibrierung bestimmt. Die besondere Herausforderung liegt in einem Targetentwurf, das für verschiedene Sensormodalitäten, d.h. für optische (VIS, NIR, MWIR, LWIR - aktiv und passiv) und geometrische Szenenmerkmale, z.B. RGB-Kameras, Time-of-Flight-Sensoren, einsetzbar ist. Jeder Sensortyp stellt hinsichtlich Materialwahl, geometrischer Gestaltung und Oberflächenbeschaffenheit ganz spezifische Anforderungen an das Target. Insbesondere die Kalibrierung von Sensoren, die die thermische Emission von Objekten bildgebend erfassen, erfordert spezielle Lösungen, da konventionelle optische Muster in Wärmebildern nicht erkennbar sind.

Der Beitrag ist gegliedert in Überlegungen zur Gestaltung und Konstruktion eines multimodalen Targets und die Diskussion der softwareseitigen Umsetzung eines Kalibrierverfahrens unter Berücksichtigung spezieller Aspekte der verwendeten Geometrien der Targetelemente. Er schließt mit einer Zusammenfassung und Erläuterungen zur Umsetzbarkeit in konkreten Anwendungen.

## 2 TARGETGESTALTUNG

Targetbasierte geometrische Kalibrierverfahren dominieren nach wie vor in Anwendungen, die hohe Genauigkeiten der aus den Bildgebungen abzuleitenden geometrischen Szeneninformationen erfordern. Typischerweise werden für optisch remissionsbasierende Bildgebungsprinzipien planare Targets mit Schachbrett- oder ChArUco-Mustern eingesetzt. Diese Methoden sind zwar etabliert und mathematisch fundiert, stoßen jedoch bei der Integration weiterer Sensormodalitäten an ihre Grenzen. Insbesondere die Einbeziehung der für eine thermische Kalibrierung häufig notwendigen beheizten Kalibrierkörper erhöhen die Komplexität

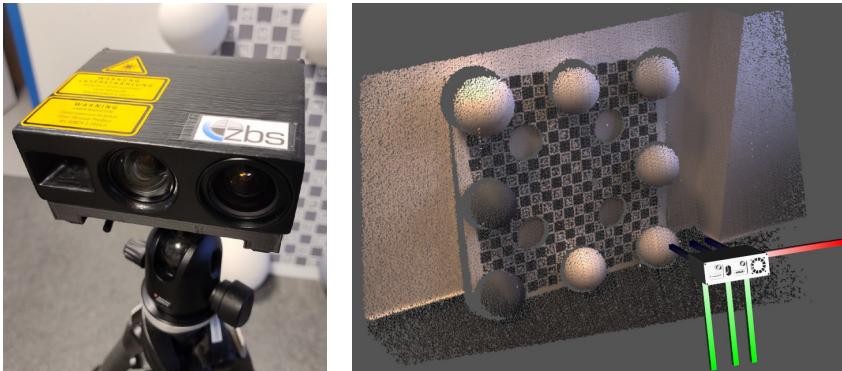
und Kosten des Kalibriervorgangs erheblich. Das in diesem Beitrag vorgestellte Konzept eines modularen, multimodalen Targets soll die Nutzbarkeit unterschiedlicher Targeteigenschaften flexibel und kostengünstig in sich vereinen. Die Grundlage bildet eine Basisplattform aus einem Aluminium- Verbundwerkstoff, die ein integriertes 2D-ChArUco-Muster für die grundlegende optische Kalibrierung enthält. Weiterhin sind 2D-geometrische Elemente integriert. Die Plattform verfügt über definierte Aufnahmepunkte, an denen weitere 3D-Primitive montiert werden können.

Die geometrischen Primitive, hauptsächlich Kugeln und Zylinder, können anwendungsspezifisch bedarfsgerecht (Formen, Größen und Materialien) mittels additiver Fertigung hergestellt werden. Diese Fertigungsmethode ermöglicht eine kostengünstige und präzise Produktion bei gleichzeitig hoher Flexibilität im Design. Als Primärelemente dienen Kugeln, die durch ihre Geometrie eine weitestgehend winkelunabhängige Erkennbarkeit gewährleisten. Die Kugelzentren können geometrisch durch drei Parameter beschrieben und validiert werden: den Radius, den Abstand zur Grundebene sowie die Abstände zu benachbarten Kugeln. Für die extrinsische Kalibrierung mit Thermographiekameras im Sensorverbund können einfache Heizelemente in die Kugeln integriert werden. Das Material und die Oberflächeneigenschaften lassen sich kooperativ anpassen. Ergänzend aufgebrachte Zylindergeometrien als Sekundärelemente erlauben eine präzise Achsdefinition und können zur Validierung der Kugelzentren dienen.

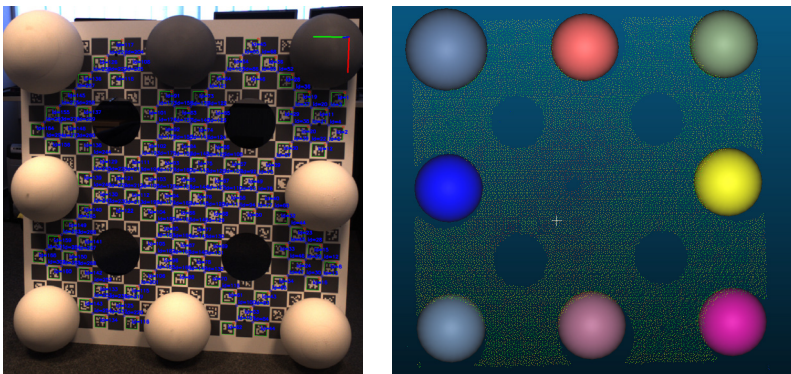
## 3 ALGORITHMISCHE UMSETZUNG DER MULTIMODALEN KALIBRIERPIPELINE

### 3.1 TARGETAUSWERTUNG UND EXTRINSISCHE KALIBRIERPIPELINE FÜR OPTISCHE VIS-MWIR-SENSOREN

Für den visuellen Spektralbereich wird eine Posenerkennung per planarem Target mit ChArUco-Mustern verwendet. Automatisch erkannte Marker mit einem bei ZBS umgesetzten Verfahren sind in Abbildung 3 dargestellt. Diese Muster können auch zur gleichzeitigen intrinsischen Kalibrierung der Bildgebung verwendet werden. Hierfür müssen mehrere Posen aufgenommen werden.



**Abb. 2:** Prototypischer Aufbau eines multimodalen Single-Shot-3DSensorsystems des ZBS e.V. (links) mit Beispielaufnahme einer RGBattributierten 3D-Punktwolke nach geometrisch extrinsischer Kalibrierung (rechts). Die 3D-Rekonstruktion erfolgt hier aktiv mit flächiger Musterprojektion und einer Kamerabeobachtung (Single-Shot). Die RGB-Kamera zur multimodalen Ergänzung der 3D-Daten ist in der Mitte installiert.



**Abb. 3:** Multimodales Target mit acht Kugelelementen unterschiedlicher Größe und Farbe (links). Die Kugeln wurden aus mattem PLA im 3D-Druckverfahren hergestellt. Ergebnis der Sphärendetektion aus einer 3D-Punktwolke eines prototypischen Single-Shot-3D-Sensorsystems des ZBS e.V. (rechts).

### 3.2 TARGETAUSWERTUNG UND EXTRINSISCHE KALIBRIERPIPELINE FÜR THERMOGRAPHISCHE SENSOREN

Für den thermographischen Spektralbereich wurde ein spezieller Ansatz entwickelt, bei dem die Kugeln mit elektronischen Heizelementen ausgestattet sind. Eine individuelle Temperierung jeder Kugel ermöglicht die zuverlässige Detektion und insbesondere eindeutige Identifikation bei unterschiedlichen Targetposen im Wärmebild (siehe Abbildung 4). Zusätzliche geometrische Elemente auf dem planaren Target (Bohrungen) ermöglichen optional eine Genauigkeitssteigerung der Auswertungen im Fall nahezu senkrechter

Ausrichtungen der Kamera zum Target. Die Bohrungssegmente können aufgrund der natürlichen Temperaturunterschiede des Targets zum Umfeld leicht detektiert werden.

Ein fundamentales Problem bei der Verwendung von Kugeln als Kalibrierobjekt ist die perspektivische Projektion, da eine Kugel in der Bildebene stets als Ellipse abgebildet wird. Der typischerweise zur Kalibrierung verwendete Schwerpunkt der Kugelprojektion (Ellipsensegment), der wegen seines integralen

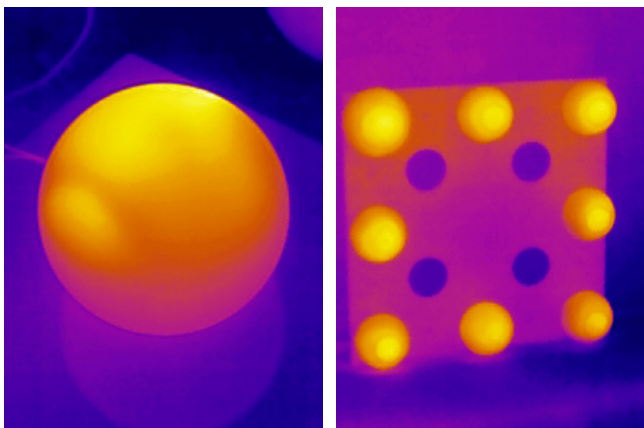
Charakters zur genauen Strukturortbestimmung genutzt werden kann, entspricht im Allgemeinen nicht der Projektion des Kugelmittelpunkts. Der ansichtsabhängige systematische Fehler, der entsteht, weil der Sehstrahl durch den Ellipsenschwerpunkt nicht durch den tatsächlichen Kugelmittelpunkt verläuft, muss für die Nutzung des Targetabbildes für Kalibrierzwecke korrigiert werden [3]. Die Größe dieser Abweichung hängt vom Blickwinkel und der radialen Position im Bild ab. Auf dieser Grundlage wurde ein eigenes Korrekturverfahren entwickelt und in die Verarbeitung der Targetdaten einbezogen.

Die Posen-Erkennung für die Thermographiekamera erfolgt in mehreren Schritten:

- 1. Ellipsen-Korrektur:** Für die perspektivische Abbildung von Kugeln wird eine systematische Korrektur der projizierten Zentren vorgenommen. Der entwickelte Algorithmus modelliert und korrigiert die geometrische Beziehung zwischen der tatsächlichen Kugelposition und ihrer elliptischen Projektion in der Bildebene. Diese Korrektur ist besonders wichtig bei größeren Blickwinkeln und bei Kugelpositionen am Bildrand, wo die perspektivischen Einflüsse am stärksten ausgeprägt sind.
- 2. Blob-Detektion:** Die Abbilder der erwärmten Kugeln werden im geometrisch korrigierten Wärmebild mittels OpenCV-Blob-Detector [2] lokalisiert. Durch die unterschiedlichen Temperaturniveaus der einzelnen Kugeln wird eine eindeutige Zuordnung und Unterscheidung im Targetabbild ermöglicht.
- 3. Pose-Estimation:** Mit den korrigierten Bildpunkten und ermittelten geometrischen Parametern der geometrischen Primitive wird mittels solvePNPAlgorithmus [2] die finale Pose des Targets bestimmt.

### 3.3 TARGETAUSWERTUNG UND EXTRINSISCHE KALIBRIERPIPELINE FÜR 3D-SENSOREN

Die Verarbeitung von erfassten 3D-Punktwolken Daten eines intrinsisch kalibrierten 3D-Sensoren erfolgt in mehreren aufeinanderfolgenden Schritten, die eine robuste Erkennung und geometrische Positionsbestimmung der Kalibrierelemente ermöglichen:



**Abb. 4:** Targetaufnahme mit Thermographiekamera TOPDON TS001: Abbild einer aktiv erwärmten Kugel auf einer Aluminiumplatte (links) und Abbild des Targets mit Bohrungen und erwärmten Kugeln (rechts)

- 1. Initiale Segmentierung:** Mittels DBScan-Algorithmus [1] wird die Punktwolke in einzelne zusammenhängende Objekte segmentiert. Dieser dichtebasierte Ansatz ermöglicht eine effektive Trennung der geometrischen Primitive voneinander und vom Hintergrund.
- 2. Geometrische Filterung:** Die segmentierten Objekte werden anhand ihrer Größenordnung und geometrischen Eigenschaften gefiltert. Insbesondere wird für potenzielle Kugelsegmente überprüft, ob ihre Punktverteilung mit dem bekannten Radien des Targets kompatibel sind.
- 3. Parameterextraktion:** Für die gefilterten Segmente erfolgt eine Parameterbestimmung mittels RANSAC-Verfahren und anschließender Least-Squares-Optimierung. Dabei werden geometriespezifisch folgende Eigenschaften ermittelt, z.B.:
  - für Kugeln: Mittelpunktkoordinaten und Radius
  - für Zylinder: Achsenrichtung, Radius und Länge
  - ergänzend: Parameter der Basisebene, falls diese im Sichtfeld liegt

- 4. Modellvalidierung:** Die extrahierten Parameter werden anhand der bekannten Target-Geometrien im Targetaufbau validiert:
  - bei Kugeln: Abstände zwischen Kugelmittelpunkten, Radien der Kugeln, Abstände zur Basisebene (falls sichtbar)
  - bei Zylindern: Durchmesser und Länge
  - bei Ebenen: Ausrichtung und Ebenheit

- 5. Iterative Optimierung:** Mittels RANSAC werden die Parameter solange optimiert, bis entweder die Abweichungen unter einen definierten Schwellwert fallen oder eine maximale Iterationszahl erreicht ist. Dies gewährleistet eine robuste, schnelle und genaue Anpassung, auch bei verrauschten Daten und vermeidet Overfitting.

- 6. Pose-Estimation:** Die finale Transformation wird durch Least-Squares-Registrierung nach Umeyama [4] bestimmt. Dabei werden z.B. gemessene Kugelmittelpunkte mit dem Target-Modell in Übereinstimmung gebracht. Die eindeutige Zuordnung der Korrespondenzen wird durch Referenzkugel ermöglicht.

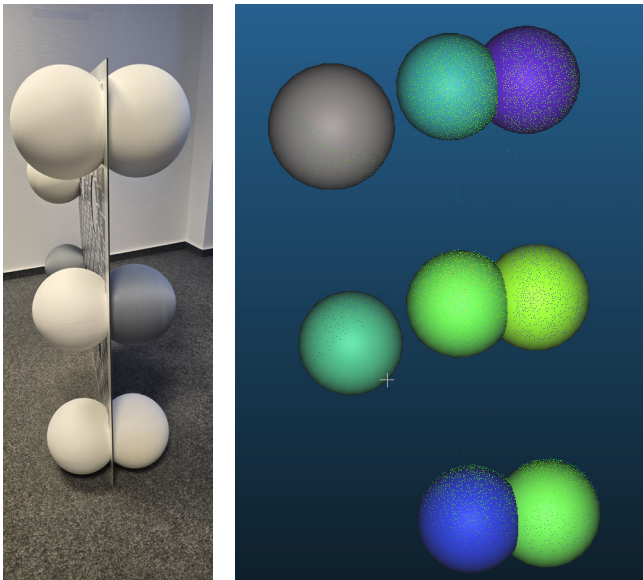
Die dargestellte Pipeline ermöglicht die robuste Erkennung der Target-Pose auch unter schwierigen Bedingungen des praktischen Einsatzes, wie partieller Verdeckung oder unterschiedlichen Aufnahmewinkeln unterschiedlicher Targetposen zum Kamerasetup.

Die Kalibrierung und Posen-Erkennung von bildgebenden 3D-Sensoren bietet bei senkrechter Ansicht zum Target, wie in Abbildung 3 dargestellt, im Vergleich zu einem konventionellen planaren Target zunächst keine signifikanten Vorteile. Im Gegenteil: Die Kugelelemente können sogar die Erfassung der planaren Geometrie erschweren, da sie relevante Bereiche verdecken. Die besonderen Stärken des entwickelten Targets zeigen sich jedoch bei der Posen-Erkennung auch unter extremen Winkeln. Abbildung 5 demonstriert dies anhand einer normalerweise ungebräuchlichen Seitenansicht auf das Target. Durch die beidseitige Anordnung der Kugeln am Target kann der ursprüngliche Modellparameter „Abstand zur Ebene“ durch den „Abstand zwischen den Kugelreihen“ ersetzt werden. Selbst die im Hintergrund befindlichen Kugeln, die aufgrund der perspektivischen Ansicht deutlich weniger Messpunkte aufweisen als die sechs Kugeln im Vordergrund, können von noch zuverlässig erkannt und in die Modellberechnung einbezogen werden. Diese Robustheit bei extremen Aufnahmewinkeln stellt einen entscheidenden Vorteil dieses Targets gegenüber herkömmlichen planaren Targets dar.

#### 4 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Das vorgestellte modulare multimodale Target demonstriert mehrere entscheidende Vorteile für die praktische Anwendung in der geometrischen Kalibrierung von multimodalen Kamerasetups. Die Einbeziehung der Bedürfnisse verschiedener Sensormodalitäten in die Targetgestaltung resultiert in einem vielseitig nutzbaren, flexiblen Design, das sowohl für RGB-Kameras, Thermographiekameras als auch 3D-Sensoren geeignet ist. Das ChArUco-Muster erlaubt die präzise Kalibrierung optischer Sensoren, während die ebenen geometrischen Elemente und die optional beheizbaren Kugelemente die thermographische Bildgebung unterstützen. Gleichzeitig dienen die geometrischen 3D-Primitive der robusten Posen-Erkennung mit 3D-Modalitäten.

Ein besonderer Vorteil des Targetkonzeptes liegt in seiner modularen Bauweise, die ein schnelles Um- und Nachrüsten ermöglicht. Die einzelnen Komponenten können je nach Anwendungsfall flexibel montiert oder demontiert werden, was die Anpassung an verschiedene, wechselnde Kalibrierszenarien vereinfacht. Dabei gewährleistet die standardisierte Befestigung eine präzise und reproduzierbare Positionierung der Elemente.



**Abb. 5:** Multimodales 2D-/3D-Target mit 8 Kugeln in Seitenansicht senkrecht zur Ebenennormalen (links). Rechts dargestellt ist die 3D-rekonstruierte Szene aus Sicht der 3D-Modalität.

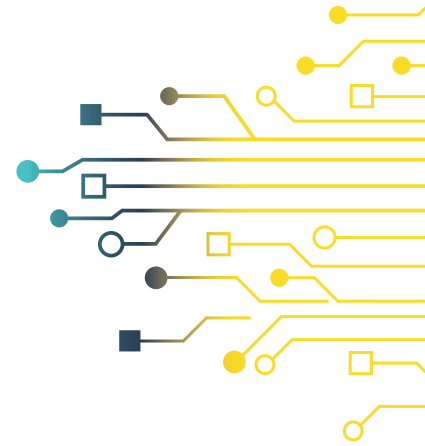
Durch Nutzung additiver Fertigungsverfahren für die 3D-Primitive können geometrische Elemente für spezifische Anforderungen aus Bildmodalität und Erfassungsraum kostengünstig und individuell realisiert

werden. So können beispielsweise Strukturen für die Integration von Heizelementen oder spezielle Oberflächeneigenschaften direkt im Druckprozess realisiert werden. Diese Flexibilität trägt wesentlich zur Praktikabilität und Weiterentwicklungsfähigkeit des Targets bei. Das beschriebene Verfahren und die algorithmische Umsetzung einer multimodalen, automatisierten Kalibrierpipeline berücksichtigt modenspezifische Besonderheiten des Targets und Targetabbildes. Im Beitrag wurden Vorschläge zur Gewährleistung hoher Genauigkeiten der Targetauswertung gemacht. Eine quantitative Validierung der Kalibriergenauigkeit mit realen Sensorsystemen stellt eine besondere Herausforderung dar, da ein direkter Vergleich mit konventionellen Targets und Verfahren durch die fehlende Ground-Truth-Referenz erschwert wird. Dies betrifft insbesondere 3D-Sensoren, bei denen die Schaffung reproduzierbarer Vergleichsbedingungen aufgrund systeminhärenter Messunsicherheiten und unterschiedlicher Messprinzipien nur eingeschränkt möglich ist. Um dennoch eine objektive Bewertung verschiedener Kalibrierverfahren zu ermöglichen, wird aktuell an einer Simulationsumgebung gearbeitet, die sowohl idealisierte als auch realistische Sensoreigenschaften verschiedener Modalitäten abbilden soll. Diese ermöglicht zukünftig systematische Vergleichsstudien unter kontrollierten Bedingungen.

Mit dem Ergebnis der Arbeiten stehen potentiellen Anwendern multimodaler Kamerasetups Hardware- und Software-Werkzeuge des ZBS e.V. (3D-EasyCalib[5]) zur Verfügung, welche die Erzeugung korrekt fusionierter multimodaler Bilddaten für weiterführende Bildanalysen ermöglichen.

#### REFERENZEN

- [1] Martin Ester, Hans-Peter Kriegel, Jörg Sander, and Xiaowei Xu. A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise. In Proceedings of the Second International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, KDD'96, page 226–231. AAAI Press, 1996.
- [2] OpenCV. The OpenCV Reference Manual, 2.4.13.7 edition, April 2014.
- [3] Rudi Penne, Bart Ribbens, and Pedro Roios. An exact robust method to localize a known sphere by means of one image. International Journal of Computer Vision, 127, 08 2019.
- [4] Shinji Umeyama. Least-squares estimation of transformation parameters between two point patterns. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 13(04):376–380, 1991.
- [5] Darko Vehar, Rico Nestler, and Karl-Heinz Franke. 3d-easycalib™ - toolkit zur geometrischen kalibrierung von kameras und robotern. In 22. Anwendungsbezogener Workshop zur Erfassung, Modellierung, Verarbeitung und Auswertung von 3D-Daten, 3D-NordOst. GFal Gesellschaft zur Förderung angewandter Informatik e. V., December 2019.



## Über uns:

Die Gesellschaft zur Förderung angewandter Informatik e. V. (GFai) ist eine industriennahe Forschungseinrichtung mit über 30 Jahren Erfahrung in der angewandten Informatik. Wir entwickeln praxisorientierte IT-Lösungen für Unternehmen und Institutionen, insbesondere in den Bereichen optische Mess- und Prüftechnik, Schall und Schwingungen, 3D-Datenverarbeitung, Robotik, Energie- und Umwelttechnik, Netzwerkinfrastruktur sowie wissensbasierte Dialogsysteme.

Neben der Forschung engagiert sich die GFai in der Ausbildung und Qualifizierung von Fachkräften. In Zusammenarbeit mit Hochschulen fördern wir den Wissenstransfer und begleiten Studierende sowie Nachwuchstalente auf ihrem Weg in die Praxis.

Zusammen mit ihren Tochterunternehmen gfai tech GmbH und Adalogic GmbH unterstützt die GFai den Transfer von Innovationen in den Mittelstand Deutschlands und setzt Impulse für digitale und nachhaltige Entwicklungen.

Weitere Informationen finden Sie unter [www.gfai.de](http://www.gfai.de).

## Kontaktdaten

### AI4EA:

E-Mail: [AI4EA@gfai.de](mailto:AI4EA@gfai.de)

Internet: [www.gfai.de/aktuelles/veranstaltungen/ai4ea-workshop/ai4ea](http://www.gfai.de/aktuelles/veranstaltungen/ai4ea-workshop/ai4ea)

### 3D-ISA:

E-Mail: [3D-ISA@gfai.de](mailto:3D-ISA@gfai.de)

Internet: [www.gfai.de/aktuelles/veranstaltungen/workshop-3d-nordost/workshop](http://www.gfai.de/aktuelles/veranstaltungen/workshop-3d-nordost/workshop)

## IMPRESSUM

### Herausgeber / Organisation:

F. Böhm, B. Hohnhäuser, M. Bauer

Gesellschaft zur Förderung angewandter Informatik e. V. (GFai)  
Volmerstraße 3, 12489 Berlin

Telefon: +49 30 814563-300

Telefax: +49 30 814563-302

eMail: [sekretariat@gfai.de](mailto:sekretariat@gfai.de)

Internet: [www.gfai.de](http://www.gfai.de)

### ISBN-Nummer:

978-3-942709-34-7