

# Untersuchung von Methoden zur Analyse der Passgenauigkeit mittels 3D-Scanning erfasster Oberflächen am Beispiel der Teufelssteine von Pließkowitz

Bearbeiter: Otto Näther

Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Danilo Schneider, Dr.-Ing. Alvand Miraliakbari

## HINTERGRUND & HERAUSFORDERUNG

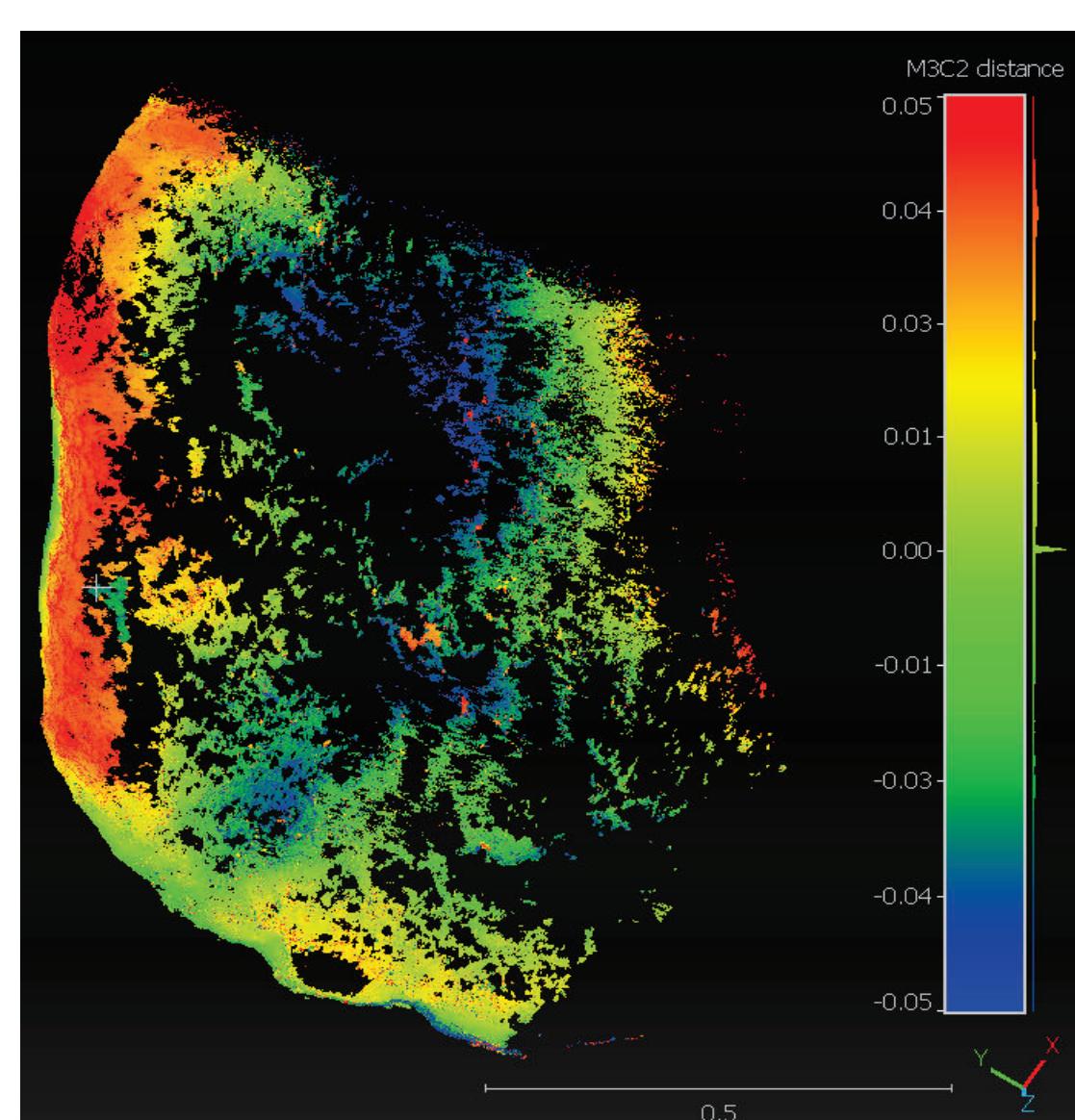
Archäologische Natursteininformationen wie die Teufelssteine von Pließkowitz sind durch Erosion, anthropogene Eingriffe und jahrhundertelange Überprägung nur fragmentarisch erhalten. Ihre ursprüngliche Anordnung und kultische Funktionalität lassen sich daher meist nur hypothetisch rekonstruieren. Klassische Rekonstruktionsmethoden stützen sich vornehmlich auf visuelle Einschätzungen, die subjektiv geprägt und nur eingeschränkt reproduzierbar sind. Angesichts der hohen kulturhistorischen Bedeutung dieser Denkmäler besteht die Notwendigkeit, die Passgenauigkeit fragmentierter Oberflächenstrukturen objektiv und quantifizierbar zu bewerten.

Das zentrale Problem liegt in der Entwicklung einer methodisch belastbaren Metrik, die geometrische Kongruenzen fragmentierter Gesteinoberflächen zuverlässig erfasst, Unsicherheiten berücksichtigt und über rein qualitative Ansätze hinausgeht. Weder bestehende industrielle Softwarelösungen noch etablierte archäologische Methoden erfüllen diese Anforderungen in ausreichendem Maße. Daher erfordert die Fragestellung eine experimentell fundierte Kombination von hochauflösender 3D-Erfassung (SfM und Streifenlichtscanner) mit offenen, wissenschaftlich nachvollziehbaren Analyseverfahren, um die Passgenauigkeit von Natursteinfragmenten erstmals systematisch und reproduzierbar zu evaluieren. Hierzu wurde eine Metrik (Passgenauigkeitsindex) entwickelt:

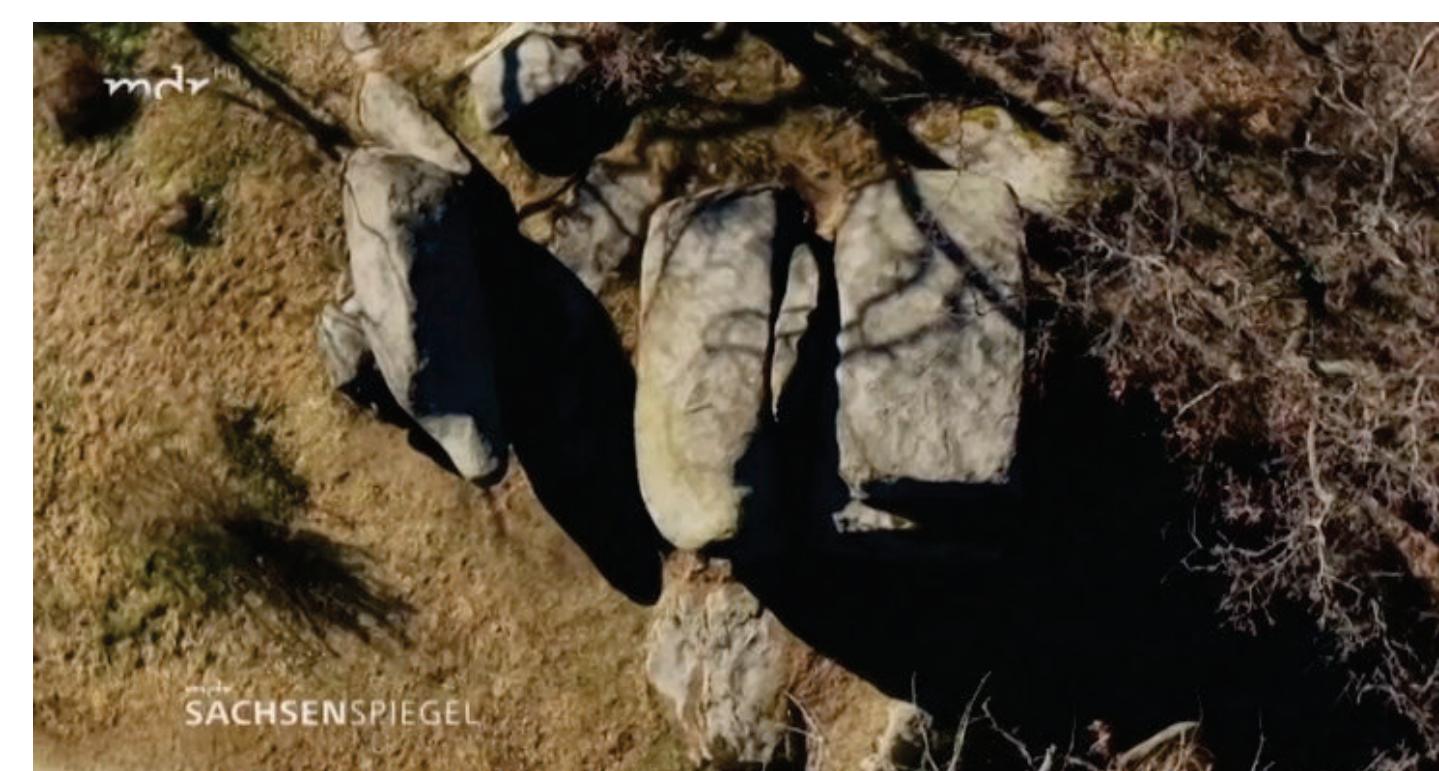
$$PGI = \frac{\log_{10}(A + 1)}{\sigma_{\text{Abstand}} + \text{Mittelwert} + \sigma_{\text{Scanner}}}$$

Dieser PGI-Wert wurde zur besseren Vergleichbarkeit normiert und daraus eine Bewertungsmatrix abgeleitet:

PGI <sub>final</sub>	Bewertung	Interpretation
≥ 0,96	Sehr passend	Exzellente geometrische Übereinstimmung, fast identisch, ohne sichtbare Abweichungen
0,79 – 0,95	Passend	Gute Passung, geringe Abweichungen, funktional voll nutzbar
0,59 – 0,78	Eingeschränkt passend	Erkennbare Abweichungen, aber noch mit Toleranz nutzbar
0,40 – 0,58	Schwach passend	Deutliche Passungsprobleme, nur bedingt verwertbar
< 0,40	Nicht passend	Keine funktionale Passung mehr gegeben



Ergebnisse Teufelssteine



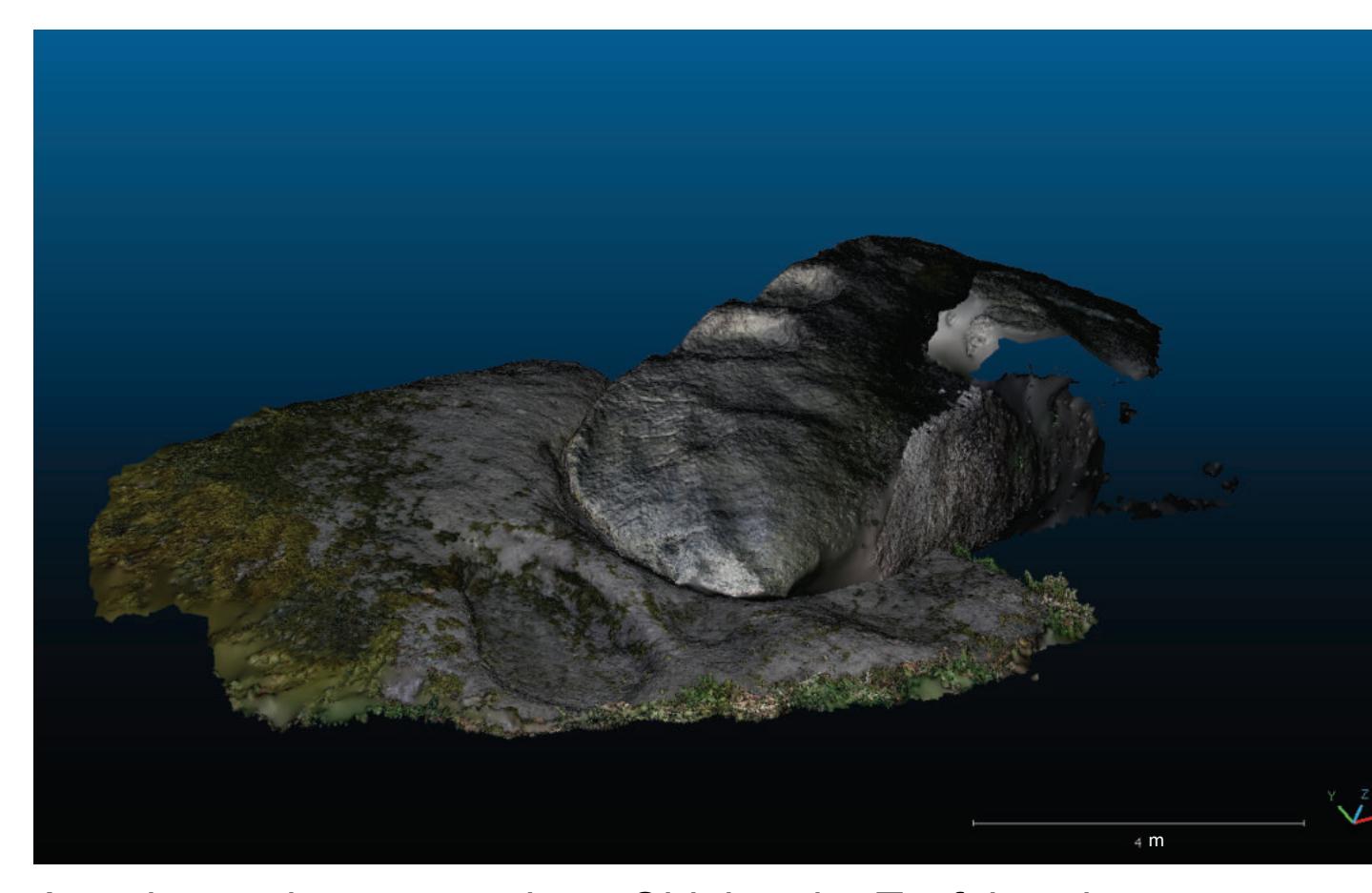
Teufelssteine (Beitrag im Sachsen Spiegel, 2025)



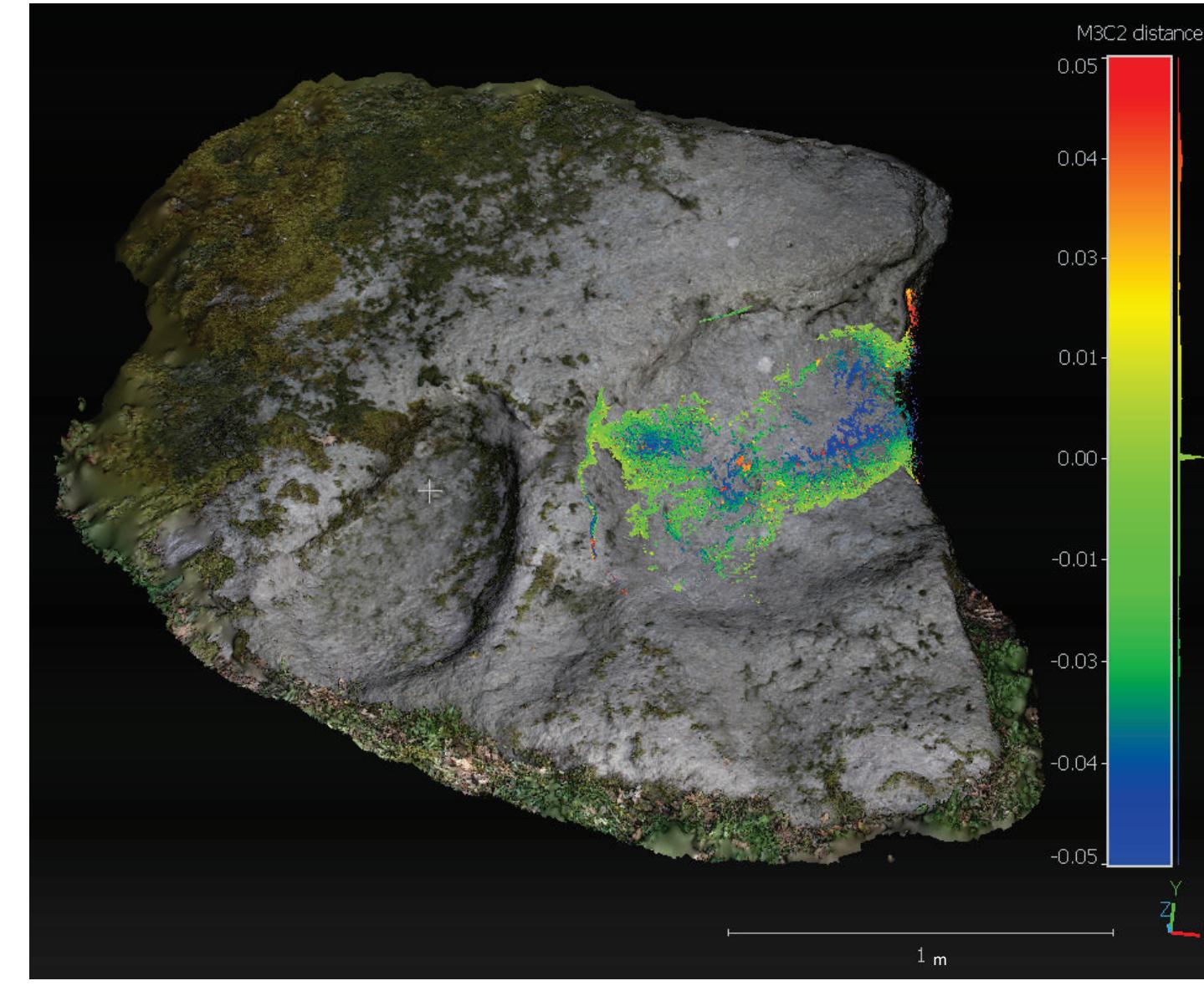
Datenaufnahme der Teufelssteine



Visualisierung in Blender



Anordnung der untersuchten Objekte der Teufelssteine



Visualisierung der Ergebnisse (Einheit m)

## ERGEBNIS & LÖSUNG

Es wurde ein neues Analyseverfahren zur objektiven Bewertung der Passgenauigkeit von fragmentierten Oberflächenstrukturen entwickelt. Dieses Verfahren kombiniert die Stärken von Structure-from-Motion (SfM) für eine hohe Texturtreue mit denen eines Streifenlichtscanners zur Erfassung geometrischer Genauigkeit, wodurch eine robuste Datenbasis geschaffen wird. Zur Registrierung der Punktwolken und Messung von Oberflächendistanzen kommen in CloudCompare etablierte Methoden wie ICP, C2C und M3C2 zum Einsatz. Aufbauend darauf wurde eine normierte Metrik, der Passgenauigkeits-Index (PGI), entwickelt, die eine vergleichbare Bewertung verschiedener Objekte ermöglicht.

Die Validierung des Verfahrens erfolgte an künstlich bearbeiteten Sandstein-Prüfkörpern, wobei die gewonnenen Ergebnisse den erwarteten Referenzwerten entsprachen. Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass die Methode auch auf komplexe, erosionsgeprägte Strukturen – Teufelssteine – anwendbar ist. Somit wurde das Ziel erreicht, eine objektive und vergleichbare Bewertungsmethode für archäologische Fragestellungen bereitzustellen. Einschränkungen des Verfahrens bestehen jedoch in einer Abhängigkeit von der Datenqualität sowie der Geometrie und Oberflächenstruktur der untersuchten Objekte.

## NUTZEN / VORTEIL

Mit dieser Arbeit wird eine wissenschaftlich fundierte Methode, um zu prüfen, ob Steinfragmente zusammenpassen geschaffen. Das hilft, Kulturdenkmäler wie die Teufelssteine besser zu verstehen, zu rekonstruieren und zu schützen. Gleichzeitig ist die Methode günstig, reproduzierbar und auch für andere archäologische Projekte nutzbar.

## FAZIT / AUSBLICK

- **Datenbasis erweitern:**
  - mehr Referenzobjekte, verschiedene Materialien und Fragmentierungsgrade
  - Belastbarkeit & Generalisierbarkeit prüfen
- **PGI-Metrik weiterentwickeln:**
  - Integration von Oberflächenrauigkeiten, Volumenvergleichen und Feature-Extraktion
- **Automatisierung und KI:**
  - automatisches Matching
  - KI-gestützte Klassifikatoren für große Fragmentbestände
- **Visualisierung ausbauen:**
  - Blender/VR für Forschung, Museen, Didaktik
  - starke Unterstützung für Digitalisierung & Rekonstruktion archäologischer Kulturgüter