

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

Kurzzusammenfassung Masterarbeit, Otto Näther

Die Teufelssteine bei Kleinbautzen (Abb.1) stellen ein bedeutendes archäologisches Naturdenkmal dar, dessen ursprüngliche Anordnung und Nutzung aufgrund starker Erosionsprozesse und anthropogener Eingriffe nur noch fragmentarisch rekonstruierbar ist. Ziel der Arbeit war die Entwicklung und Validierung eines objektiven, reproduzierbaren Analyseverfahrens zur quantitativen Bewertung der Passgenauigkeit fragmentierter Oberflächenstrukturen an archäologischen Natursteinobjekten.



Abbildung 1: Steininformation Teufelssteine (MDR Sachsen, 2025)

Kern des methodischen Ansatzes war die Definition eines normierten Passgenauigkeitsindex (PGI_{final}), der geometrische Übereinstimmung im Wertebereich $[0, 1]$ abbildet. Die Metrik integriert zentrale Messgrößen, wie mittlere Punktabstände (Mittelwert), deren Standardabweichung ($\sigma_{Abstand}$) sowie die bekannte 3D-Punktgenauigkeit der Erfassungssysteme ($\sigma_{Scanner}$) und berücksichtigt über eine logarithmische Transformation der Oberflächenausdehnung die Vergleichbarkeit unterschiedlich großer Untersuchungsflächen. Durch lineare Normierung und eine fünfstufige Bewertungsskala wird eine klare Klassifizierung von „sehr passend“ bis „nicht passend“ ermöglicht. Die Bewertungsskala richtet sich nach dem Benotungsmaßstab des Freistaates Sachsens.

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

Formel 1: Passgenauigkeitsindex (***PGI***)

$$PGI_{\text{final}} = \frac{PGI}{PGI_{\text{max}}}$$

Formel 2: ***PGI_{final}***

Zur methodischen Umsetzung wurden sowohl bildbasierte Structure-from-Motion- (SfM)-Verfahren mit einer DSLR-Kamera als auch hochauflösende Streifenlichtscanner (Artec Leo, AICON smartSCAN-HE R4) eingesetzt. Als Untersuchungsobjekte dienten komplex erodierte Oberflächen ausgewählter Teufelssteinblöcke sowie frisch gespaltene Sandsteinhälften als Referenzkörper. Letztere wurden zusätzlich in definierten Bearbeitungsstufen modifiziert, um den Einfluss von Materialabtrag auf die Passgenauigkeitsmetriken zu quantifizieren.

Die aufgenommenen Punktwolken wurden in CloudCompare mittels ICP-Verfahren präzise registriert. Für die Abstandsanalyse kamen Cloud-to-Cloud-Distance (C2C) und Multiscale Model-to-Model Cloud Comparison (M3C2) zum Einsatz, wobei M3C2 aufgrund der normalenbasierten, richtungsabhängigen Messung und integrierten Unsicherheitsbewertung die höhere Aussagekraft besaß.

Die Ergebnisse belegen, dass der entwickelte Passgenauigkeitsindex in der Lage ist, zwischen idealen, moderat veränderten und stark erodierten Oberflächen zuverlässig zu unterscheiden. Der Einsatz von Streifenlichtscannern führte zu den präzisesten Resultaten, während SfM eine kostengünstige, aber textur- und beleuchtungsabhängige Alternative darstellt. Zudem ist die Passgenauigkeit in der Visualisierung der M3C2-Ergebnisse eindeutig (Abb. 2).

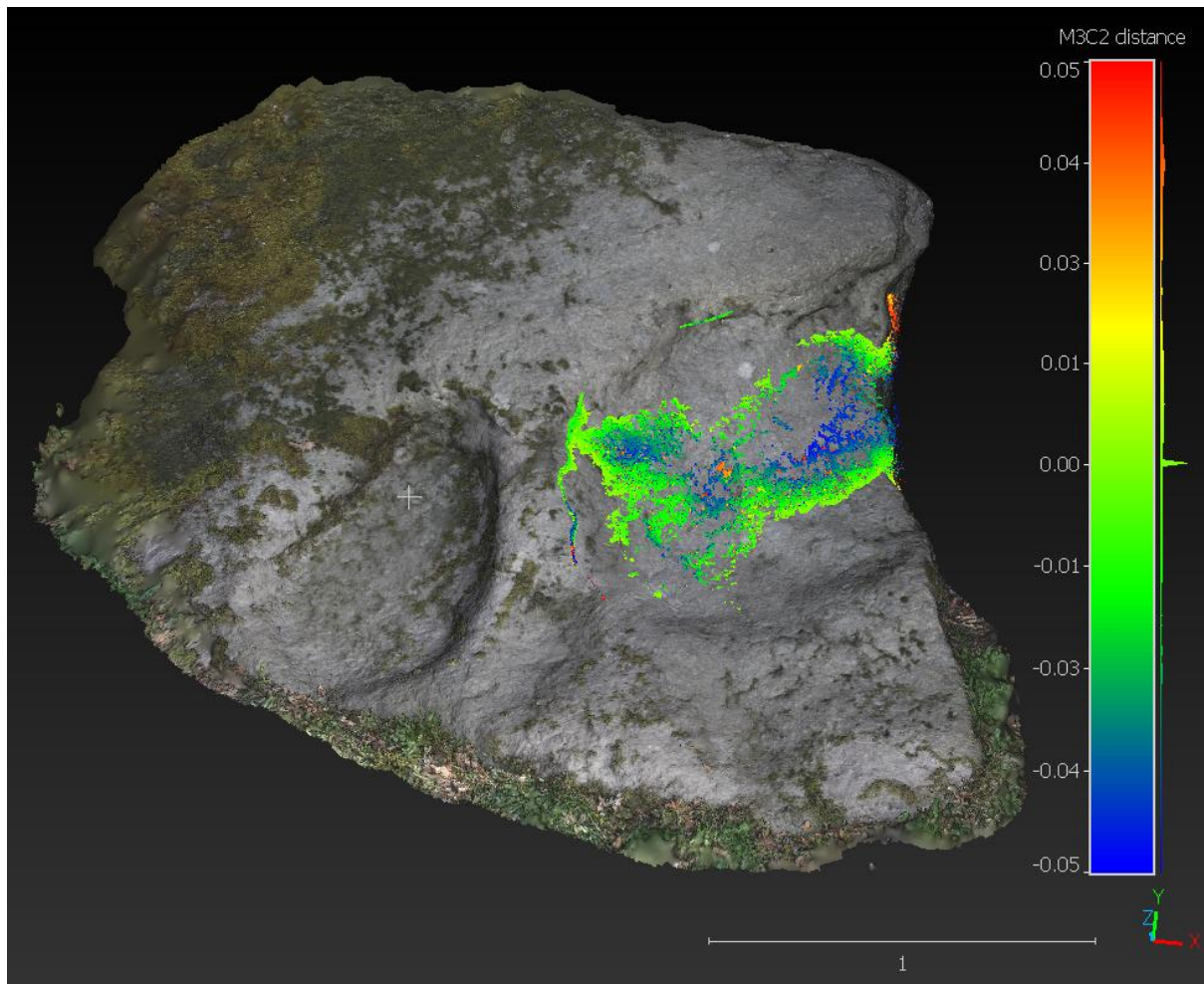


Abbildung 2: Ergebnisse stein_01 m3c2 und Mesh (bildbasiertes Aufnahmeverfahren, CloudCompare, 2025)

Das entwickelte Verfahren bietet eine belastbare Grundlage für die objektive Bewertung von Oberflächenpassungen im archäologischen Kontext und ist auf weitere Disziplinen wie Denkmalpflege, Restaurierung oder industrielle Qualitätskontrolle übertragbar. Eine Erweiterung des Datensatzes sowie die Integration automatisierter Matching-Algorithmen stellen vielversprechende Perspektiven für die zukünftige Forschung dar.