

Peter Kozub

Die Bedeutung der trasseologischen Forschung in der Konservierung und Restaurierung von Steinskulpturen.

Der Einsatz digitaler Methoden bei der Dokumentation und Analyse von Spurenfunden.

(Der Text basiert auf dem Artikel: Kozub, Peter: The Significance of Traceological Research in the Conservation and Restoration of Stone Sculptures. The Use of Digital Methods in the Documentation and Analysis of Trace Evidence. In Stone 2025, 15th International Congress on the Deterioration and Conservation of Stone. Proceedings, Vol. II, Paris 2026, 513-519. <https://publ.icomos.org/publicomos/jlbSai?html=Pag&page=Pml/Not&base=technica&ref=39338EF20F78132AFDC16E1FEAoF198A> Dieser Artikel wurde von dem Autor übersetzt sowie geringfügig geändert und ergänzt.)

Abstrakt:

Die trasseologische Forschung bietet wertvolle Einblicke in die Restaurierungspraxis von Steinskulpturen, indem sie die Entstehung, Nutzung und Veränderung von Spuren auf Kunstwerken untersucht. Während trasseologische Methoden in Disziplinen wie der Epigraphik und Archäologie bereits etabliert sind, finden sie in der Restaurierung von Steinskulpturen bisher wenig systematischen Einsatz. Dabei ist die Analyse der Spuren an der Oberfläche der Steinskulpturen entscheidend, um deren Herstellungsprozesse, verwendete Werkzeuge und Anwendungstechniken zu identifizieren und die Spuren in einen historischen Kontext einzuordnen.

Der Einsatz digitaler Methoden, insbesondere der 3D-Technologie, gestaltet die Dokumentation und Analyse von Spuren neu. Mit 3D-Scannern können Oberflächen hochpräzise erfasst und komplexe Spurenmuster in ihrer räumlichen Tiefe und Anordnung analysiert werden. Diese Technik ermöglicht es, Spuren nicht nur optisch zu dokumentieren, sondern auch deren Form, Verlauf und Randbeschaffenheit genau zu bestimmen. Dadurch wird es möglich, die Spuren detailliert zu interpretieren und Entscheidungen über ihre Erhaltungswürdigkeit zu treffen.

Diese Technologien erlauben eine detaillierte Analyse der Spurenmorphologie und -verteilung, die mit herkömmlichen Methoden wie Streiflichtfotografie, Abguss- und Abklatschverfahren oft nicht in der gleichen Genauigkeit zu erreichen ist. Zudem ermöglicht die 3D-Analyse eine reproduzierbare und nachvollziehbare Dokumentation, die essenziell für die holistische Betrachtung des Objekts und die richtige Interpretation der Spuren ist.

In dem Artikel werden verschiedene Fallstudien vorgestellt, die den Einsatz der 3D-Scan-Analyse in der Praxis illustrieren. Diese Beispiele zeigen, wie digitale Methoden traditionelle Verfahren ergänzen und präzisieren können, um die Restaurierung von Steinskulpturen auf ein neues Niveau zu heben. Der Artikel diskutiert auch die methodischen Anforderungen und Herausforderungen, die mit der digitalen Spurendokumentation einhergehen, und zeigt auf, wie diese Technologien dazu beitragen können, die Wertigkeit von Spuren für die Erhaltung von Skulpturen systematisch zu bewerten.

Schlüsselworte: Trasseologie, Steinskulpturen, 3D-Technologie

1 Einführung

Steinskulpturen sind faszinierende Zeugnisse menschlicher Kunstfertigkeit und kulturellen Ausdrucks, die lange Zeiträume überdauert haben und uns Einblicke in längst vergangene Epochen gewähren. Neben ihrem ästhetischen Reiz sind diese Meisterwerke auch Träger wertvoller Informationen über technische und künstlerische Praktiken der Vergangenheit. Denn jede Skulptur trägt Spuren, die Aufschluss über ihre Herkunft, die verwendeten Techniken und Werkzeuge bei der Herstellung sowie die Einflüsse von Umwelt im Laufe der Zeit liefern. Ein tiefes Verständnis dieser verschiedenen Einflüsse, die ihre heutige Form geprägt haben, ist für die Erhaltung solcher Skulpturen unerlässlich.

Die Trasseologie bietet hier eine wertvolle Methode zur Erfassung dieser wichtigen Informationen und erlaubt den Restauratoren, den Einsatz und den Wandel verschiedener Techniken im Laufe der Zeit zu verfolgen.

Doch während die Trasseologie in anderen Wissenschaftsdisziplinen wie der Archäologie und der Epigraphik seit langem etabliert ist und bereits erfolgreich zum Einsatz kommt, ist ihre Anwendung im Bereich der Restaurierung von Steinskulpturen noch in den Anfängen. Bis heute fehlen eine klare Systematik sowie eine standardisierte Vorgehensweise, die einen professionellen Einsatz dieser Methode in der Konservierungspraxis ermöglichen.

Nur wenige Autoren widmen sich diesem Thema. Die trassologische Forschung fokussiert sich auch nahezu ausschließlich auf Architekturelemente, während der skulpturale Bereich bisher wenig Beachtung findet. Der zeitliche Schwerpunkt liegt zudem vor allem auf der Antike und dem Mittelalter (vgl. Friederich 1932; Hofer 1968; Bessac 1988; Gedzevičiūtė 2005; Leistikow 2007; Wootton et al. 2013; Gregor and Mérel-Brandenburg 2021; Völkle 2024). Spätere Kunstperioden werden selten bis gar nicht in Betracht gezogen.

Mit der Einführung der digitalen Methoden, insbesondere der 3D-Technologie, eröffnen sich jedoch neue Perspektiven für die trasseologische Forschung im Bereich der Restaurierung. Dank der Möglichkeiten, die diese Technologien bieten, können Spuren viel genauer erfasst und analysiert werden, was zu einer klareren Interpretation der Spuren und damit zu einer verbesserten Restaurierungspraxis führt.

2 Schwerpunkte und Ziele der trasseologischen Forschung

Die Ziele der trasseologischen Forschung in der Restaurierung von Steinskulpturen sind vielfältig und zielen darauf ab, ein umfassendes Verständnis für die Entstehung und Erhaltung dieser Kunstwerke zu entwickeln. Die Identifizierung der verwendeten Werkzeuge und die Rekonstruktion der Arbeitsprozesse stehen jedoch im Mittelpunkt der trasseologischen Untersuchung.

Werkzeuge hinterlassen auf Steinoberflächen charakteristische Spuren. Durch die Analyse dieser Spuren können Details über die Form, die Materialbeschaffenheit und die Funktionsweise der bei der Herstellung einer Skulptur verwendeten Werkzeuge ermittelt werden.

Die Art und Weise, wie die Werkzeuge verwendet wurden, gibt Aufschluss über die Techniken und Methoden, die bei der Herstellung der Skulptur angewandt wurden. Diese Analyse

umfasst sowohl die ursprünglichen Fertigungsschritte als auch spätere historische Überarbeitungen.

Diese grundlegenden Erkenntnisse bilden die Basis für weiterführende Fragestellungen, die für die Restaurierungspraxis von erheblicher Bedeutung sind. Diese betreffen in erster Linie die Authentizität der Werke, ihre Provenienz und ihre Datierung (Hofer 1968; Sinn 2005). So trägt die Bestimmung von Werkzeugspuren und Bearbeitungstechniken dazu bei, ein umfassendes Verständnis der Spuren zu erlangen und ihre Bedeutung für die historische und kulturelle Kontextualisierung der Skulptur zu erschließen.

3 Spurenklassifizierung

Die Klassifizierung von Spuren an Steinskulpturen stellt einen grundlegenden Schritt in der traseologischen Forschung dar. Ein systematischer Ansatz zur Einteilung dieser Spuren basiert auf mehreren kritischen Faktoren: dem Material der Skulptur, den verwendeten Werkzeugen, der Art der Anwendung des Werkzeugs und, nicht zuletzt, dem Zweck oder der Absicht hinter der Bearbeitung des Steins.

Die **Art des Gesteins** beeinflusst, wie Spuren entstehen und wie sich diese im Laufe der Zeit verändern. Unterschiedliche Gesteinsarten haben jeweils spezifische Strukturen und Eigenschaften, die wiederum Einfluss darauf haben, welche Spuren die Werkzeuge auf der Oberfläche hinterlassen.

Bei der Analyse der **verwendeten Werkzeuge** wird ihre Form und das Material, aus dem sie gefertigt sind, berücksichtigt. Unterschiedliche Werkzeuge weisen charakteristische Merkmale auf, die sich in der Form und Beschaffenheit der letztlich erzeugten Spuren widerspiegeln. Auch die Abnutzung der Werkzeuge während des Gebrauchs spielt eine wesentliche Rolle, da sie die Art und Intensität der hinterlassenen Spuren verändern kann.

Die **Art und Weise**, wie ein Werkzeug eingesetzt wird, repräsentiert einen weiteren wichtigen Teil der Klassifizierung von Spuren. Hierbei werden Aspekte wie die Intensität, der Winkel und die Richtung der Anwendung des Werkzeugs untersucht. Unterschiede in der eingesetzten Kraft, Exaktheit der Ausführung und Einfallsreichtum des Bearbeiters führen zu Variationen in der Spurenlandschaft, die detaillierte Informationen über die verwendeten Techniken und die Fertigkeit des Bildhauers liefern können.

Ein weiterer Gesichtspunkt ist der **Zweck oder die Absicht der Bearbeitung**. Diese Unterscheidung schlüsselt die Spuren in solche, die bewusst als Teil des künstlerischen oder handwerklichen Prozesses entstanden sind, und solche, die als Folge unvorhergesehener oder zufälliger Ereignisse entstanden. Bewusste Spuren umfassen z.B. charakteristische Oberflächenbearbeitungen, die Teil der Gestaltung sind. Im Gegensatz dazu entstehen zufällige Spuren häufig durch Handhabungsfehler oder äußere Einflüsse. Die genaue Kenntnis des Kontextes, in dem Spuren entstanden sind, hilft, den historischen und kulturellen Wert dieser Spuren zu bewerten und in den richtigen Zusammenhang zu stellen.

Innerhalb dieses Rahmens lassen sich die Spuren weitergehend in jene unterteilen, die entweder anthropogenen Ursprungs oder auf natürliche Prozesse zurückzuführen sind. Beispiele für anthropogene Spuren sind Spuren der Werkzeuge der Oberflächenbearbeitung, Werkzeugspuren der verwendeten Übertragungstechniken oder Zeichen und Symbole, die

untrennbar mit der kulturellen Identität des Kunstwerks verbunden sind. Auf der anderen Seite stehen natürliche Spuren, die durch geologische Prozesse oder Verwitterung entstanden sind. Diese Spuren reflektieren die Alterung des Materials und die kontinuierliche Interaktion mit der Umwelt.

Die Klassifizierung der Spuren an Steinskulpturen stellt somit eine wesentliche Untersuchungsebene in der trasseologischen Forschung dar, die eine Grundlage für detaillierte Analysen, Bewertungen und Interpretationen bietet. Diese systematische Herangehensweise ermöglicht es Restauratoren, Entwicklungen in der Kunstgeschichte nachvollziehbar zu verstehen und gleichzeitig sorgfältige Entscheidungen darüber zu treffen, welche Spuren als integraler Bestandteil des kulturellen Erbes bewahrt werden sollten. Sie trägt zudem maßgeblich zur Entwicklung von Restaurierungsstrategien bei, die darauf abzielen, die ursprüngliche Integrität und den künstlerischen Ausdruck der Skulpturen zu erhalten.

4 Vorgehensweise bei der Spurenuntersuchung

Die Untersuchung von Spuren an Steinskulpturen erfordert eine sorgfältige und systematische Vorgehensweise, um die verschiedenen Arten von Spuren richtig interpretieren zu können. Diese Vorgehensweise lässt sich in mehrere klar definierten Phasen unterteilen.

Der erste Schritt in diesem Prozess ist die **Spurensuche**, bei der alle relevanten Spuren auf der Oberfläche der Skulptur lokalisiert werden. Hierzu wird die gesamte Oberfläche des Objekts sowohl makroskopisch mit bloßem Auge als auch mikroskopisch systematisch untersucht.

Im Anschluss an die Identifizierung folgt die **Spurenerfassung**, eine Phase, die sich auf die sorgfältige Dokumentation aller gefundenen Spuren konzentriert. Sie beginnt mit der Anfertigung von genauen Abbildungen der Spuren. Dabei werden die einzelnen Spuren katalogisiert und entsprechend gekennzeichnet, um eine leichte Auffindbarkeit und Vergleichbarkeit zu gewährleisten.

In der Phase der **Spurenanalyse** werden die gesammelten Daten sorgfältig ausgewertet. Die Analyse zielt darauf ab, die Art der Spuren zu bestimmen, ihre Form und Struktur zu beschreiben und ihre Lage zu dokumentieren. Dabei werden quantitative Merkmale wie Anzahl, Größe, Form und Anordnung der Spuren erfasst. Zusätzlich wird eine Klassifizierung der Spuren vorgenommen.

Die Auslegung der gesammelten Daten erfolgt in der Phase der **Spureninterpretation**, in der die Spuren in ihrem historischen und kulturellen Kontext betrachtet werden. Diese Phase erfordert ein integratives Verständnis sowohl der spezifischen technischen Aspekte der Spuren als auch des gesamten kulturellen Umfelds. Dabei werden die Spuren bestimmten Bearbeitungstechniken zugeordnet, indem sie mit bekannten Mustern in Verbindung gebracht werden, die durch verschiedene Bearbeitungsprozesse entstanden sind.

5 Traditionelle Methoden der Spurenerfassung

Traditionelle Methoden zur Dokumentation und Analyse von Spuren auf Steinoberflächen sind seit langem etabliert und umfassen eine Vielzahl von Techniken (Abb. 1, links) (Hübner 1881; Larfeld 1914, 157-159), die jedoch oft durch viele Nachteile in ihrer Anwendbarkeit eingeschränkt sind (Hofer 1968; Bessac 1988).

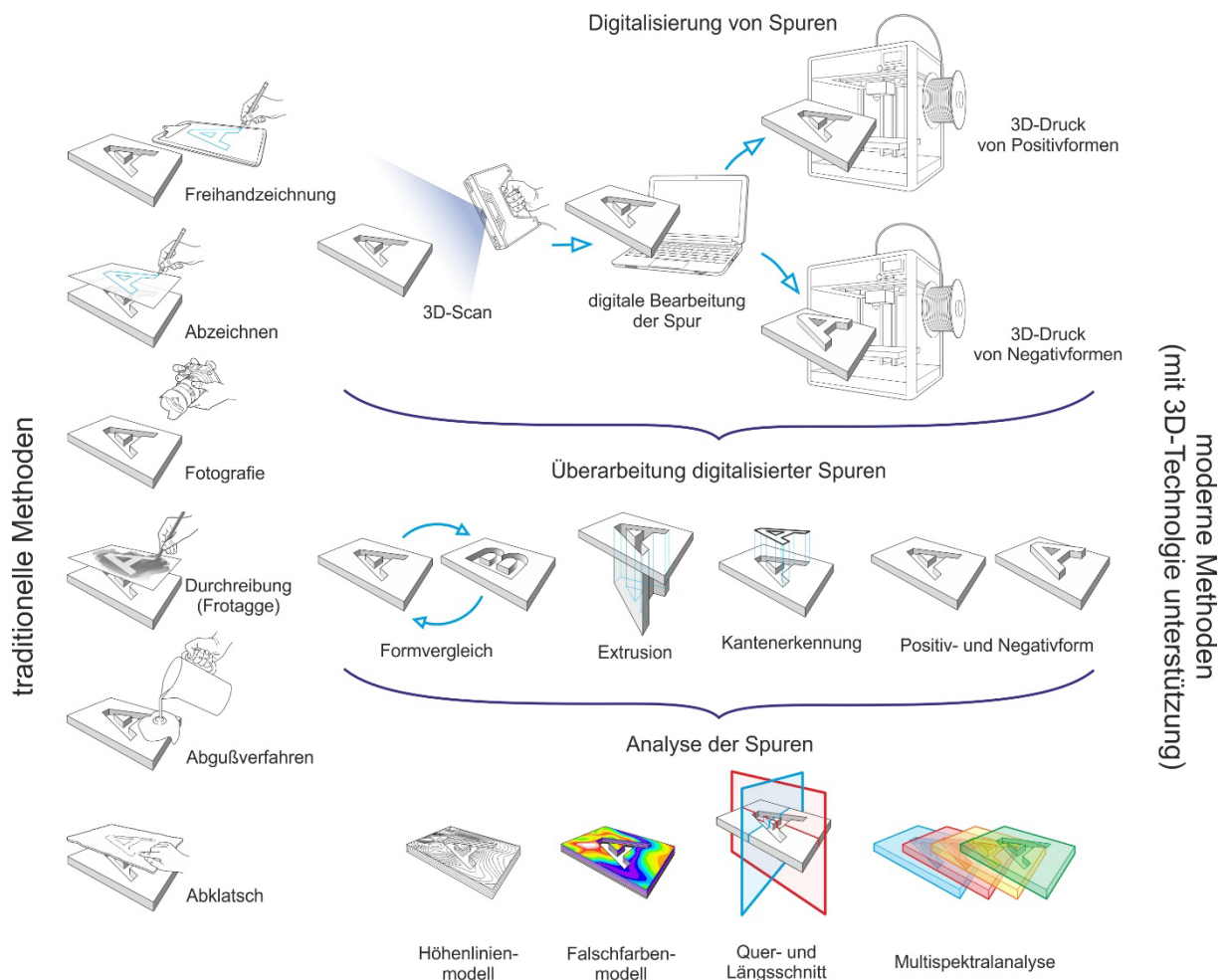


Abb. 1 Schematische Darstellung traditioneller und moderner Methoden der Spurensicherung.

Links sind die traditionellen Methoden der Spurensicherung schematisch dargestellt, die im Wesentlichen zur Dokumentation der Spuren dienen. Auf der rechten Seite werden die modernen, durch 3D-Technologie unterstützten Methoden vorgestellt. Der Prozess der Spurensicherung ist zudem schematisch in mehrere Phasen unterteilt, für die jeweils unterschiedliche Optionen zur Verfügung stehen. © Peter Kozub

Die **Freihandzeichnungen und Skizzen** gehören zu den ältesten Methoden der Dokumentation von Spuren. Sie ermöglichen zwar die Erfassung von Spuren auf Steinoberflächen auf einer visuellen Ebene, sind jedoch stark von den Fähigkeiten und der Interpretation des Zeichners abhängig und meist auf eine zweidimensionale Darstellung beschränkt. Diese Art der Dokumentation stellt oft nur einen groben Überblick über die Oberflächenstruktur dar und kann feine Details vernachlässigen.

Eine genauere, aber nicht völlig zerstörungsfreie Methode ist das **Abzeichnen** der Strukturen auf einem transparenten Medium, wie z. B. dem sogenannten Architektenpapier oder einer

Folie. Abgesehen von der Belastung der Oberfläche bei der Durchführung dieser Technik werden dabei lediglich die charakteristischen erkennbaren Kanten der Spuren erfasst. Sanfte Übergänge und undeutliche Merkmale werden mit dieser Methode nicht abgebildet.

Die **Fotografie**, insbesondere die Streiflichtfotografie, hat die visuelle Dokumentation wesentlich vorangebracht, indem sie die Dreidimensionalität der Spuren durch Schattenbildung verdeutlicht. Doch auch Fotografien, trotz ihrer Detailtreue, sind in ihrer Wiedergabe von Tiefe und Volumen limitiert, da sie lediglich flache Projektionen der tatsächlichen Oberflächencharakteristika eines Objekts liefern.

Durchreibung oder auch Frottage ist eine weitere traditionelle Technik, bei der ein Blatt Papier auf die bearbeitete Oberfläche gelegt und mit einem weichen Material wie Kohle oder Bleistift gerieben wird, um die darunterliegende Struktur sichtbar zu machen. Allerdings wird die Dreidimensionalität der dargestellten Oberfläche durch die dunkle Einfärbung der Erhebungen lediglich angedeutet. Je nach Beschaffenheit und Form der Oberfläche variiert auch die Genauigkeit der Repräsentation sehr stark. Hinzu kommt, dass sowohl das Aufliegen des Papiers als auch die Reibung selbst eine Belastung für die Oberfläche darstellen und bei empfindlichen Originalen zu deren Beschädigung führen können.

Ein weiteres traditionelles Verfahren ist der sogenannte **Abklatsch**. Diese Methode, bei der Abdrücke der Oberfläche durch Einpressen von angefeuchtetem Papier (oder anderen Materialien wie z. B. Stanniolfolie) angefertigt werden, bietet zwar eine physische dreidimensionale Reproduktion der Oberflächenstruktur. Die Methode ist jedoch invasiv und beansprucht die Oberfläche sehr stark. Die Repräsentation ist lediglich die Negativform der Oberfläche, was die Analyse und Interpretation der Spuren erheblich erschwert. Auch ist sie oft nicht in der Lage, insbesondere bei stark reliefierten Oberflächen, alle Details der Spuren präzise wiederzugeben.

Das **Abgussverfahren**, sei es mit Gips, Latex oder Silikon, ermöglicht zwar eine detailgetreue dreidimensionale Wiedergabe der Oberflächenstruktur einer Skulptur, ist aber in der Ausführung oft schwierig und nicht selten kostenintensiv. In den meisten Fällen werden aus diesen Gründen nur Negative angefertigt, was wie beim Abklatsch zu Interpretationsproblemen führen kann. Zudem stellen Abgüsse, unabhängig von Material und Technik, eine erhebliche Belastung für die Originale dar und sind bei empfindlichen oder polychromen Oberflächen aus konservatorischen Gründen überhaupt nicht durchführbar.

Darüber hinaus sind die bei allen hier beschriebenen Verfahren erzeugten Dokumentationsunterlagen oft schwer zu transportieren und zu lagern, da sie entweder empfindlich, fragil oder sperrig sind.

6 Moderne digitale Methoden

Die rasante Entwicklung digitaler Technologien hat die Dokumentation und Analyse von Spuren in den letzten Jahren stark verändert und erweitert (Abb. 1, rechts). Insbesondere 3D-Technologien eröffnen Möglichkeiten, die weit über das hinausgehen, was traditionelle Methoden bieten können.

Im Gegensatz zu traditionellen Methoden erlaubt der Einsatz der 3D-Technologie eine **hochpräzise Erfassung aller benötigten Spurenmerkmale**. Selbst feinste Details der Form

und Textur können in hoher Auflösung dokumentiert werden, was eine genaue Analyse der Beschaffenheit und Verteilung der Spuren ermöglicht.

Ein wesentlicher Vorteil liegt in der **berührungslosen und völlig zerstörungsfreien Arbeitsweise** dieser Technologien. Dadurch können auch sehr empfindliche Oberflächen exakt abgebildet werden. Auch eine wiederholte Dokumentation der Oberfläche zu unterschiedlichen Zeitpunkten ist problemlos möglich. Ohne Belastung des Originalmaterials und ohne Qualitätsverlust bei den Aufnahmen. Dies ist besonders vorteilhaft beim Langzeitmonitoring der Spuren.

Digitale Methoden bieten ein **breites Spektrum an Möglichkeiten, die Merkmale der Spuren zu visualisieren**. Repräsentationsformen wie Höhenlinienmodelle, Falschfarbendarstellungen und virtuelle Negativformen ermöglichen eine umfassende und genaue Analyse der Spuren. Virtuelle Quer- und Längsschnittanalysen zeigen deutlich Tiefen- und Komplexitätsmerkmale, die bei den traditionellen Methoden nicht darstellbar sind (Abb. 3)(Levoy 2004, 32-34, Trefný et al. 2022; Cihla et al. 2022b; Hodač et al. 2023).



Abb. 2 Verdeutlichung der Inschrift durch geometrische Modifikation und Simulation von Streiflicht sowie als Falschfarbenmodell im Vergleich zu einer ebenen Fläche. Johann Baptist Schreiners Büste von G. L. Camphausen, Marmor (Köln, 1909). © Peter Kozub

Die vielfältigen Darstellungsmöglichkeiten von Ergebnissen der trasseologischen Forschung machen diese verständlicher und fördern die Partizipation eines breiten Publikums an restauratorischen Prozessen und erhöhen die Akzeptanz restauratorischer Entscheidungen.

Der **problemlose Austausch digitaler Daten** über große Entfernungen fördert zudem die Zusammenarbeit von Wissenschaftlern und Restauratoren weltweit. Auch Transport und Lagerung der Digitalisate sind im Vergleich zu den teilweise fragilen, empfindlichen und sperrigen Dokumentationsunterlagen der traditionellen Methoden unkompliziert.

Darüber hinaus bieten die modernen digitalen Methoden eine **Vielzahl von Möglichkeiten, die Spuren zu verdeutlichen** bzw. überhaupt erst sichtbar zu machen. Mit Hilfe von virtuellen Lichtsimulationen können verschiedene – auch unrealistische – Beleuchtungsszenarien erzeugt werden, um die Sichtbarkeit und Erkennbarkeit von Spuren zu optimieren. Spektralanalysen, einschließlich Infrarot- und UV-Anwendungen als virtuelle Texturierung der dreidimensionalen Modelle der Spuren, helfen bei der Materialdifferenzierung (Tenschert 2023). Die Möglichkeit, digitale Modelle virtuell zu modifizieren, z. B. durch Kantenerkennung oder Extrusion der Vertiefungen (Abb.2), unterstützt die Sichtbarmachung und Analyse der Spurenmorphologie zusätzlich.

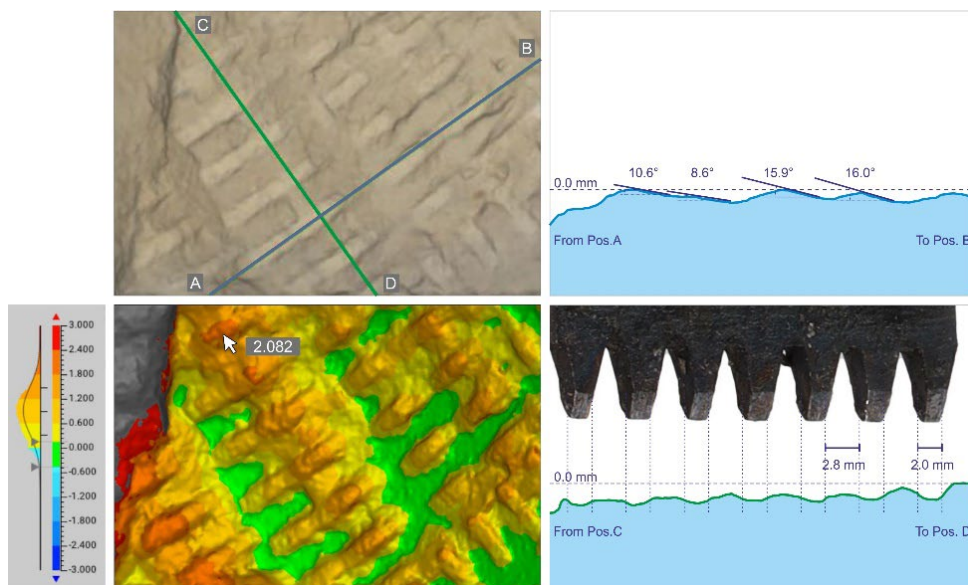


Abb. 3 Experimentelle Spuren, die mit einem Zahneisen auf dem Obernkirchener Sandstein ausgearbeitet wurden. Oben links: 3D-Scan der untersuchten Oberfläche mit Darstellung des Verlaufs der Schnitte; unten links: Falschfarbendarstellung der Oberflächentopografie mit dem tiefsten Punkt im untersuchten Bereich; oben rechts: Längshöhenprofil der Spur mit hypothetischem Schnittwinkel; unten rechts: Querhöhenprofil der Spur mit hypothetischer Form der Schneidkante. © Peter Kozub

Ein weiterer wichtiger Vorteil ist **die Möglichkeit, verschiedene digitale Modelle** schnell miteinander oder mit digitalen Referenzdaten in Form von exakten virtuellen geometrischen Formen oder simulierten Werkzeugspuren **zu vergleichen** und so Veränderungen oder Übereinstimmungen effizient zu erkennen. Dies trägt zu einer schnelleren und genaueren Analyse der Spuren bei und verdeutlicht mögliche Korrelationen mit bekannten Werkzeugtechniken oder Herstellungsprozessen.

Zukünftige Technologien, insbesondere **künstliche Intelligenz**, haben das Potenzial, der trasseologischen Forschung eine neue Ebene hinzuzufügen. Die automatische oder halbautomatische Mustererkennung und -klassifizierung wird bereits in Anwendungen zur Kantendetektion, Bestands- und Zustandskartierung eingesetzt (vgl. Kwon and Yu 2019). Diese Verfahren können die Effizienz bei der trasseologischen Forschung erheblich steigern und den Zeit- und Kostenaufwand im Vergleich zu manuellen Vergleichsmethoden reduzieren.

7 Fazit

Obwohl die trasseologische Forschung bisher nur vereinzelt in der Restaurierung, insbesondere von Steinskulpturen, eingesetzt wurde, stellt sie ein äußerst nützliches und oft unverzichtbares Werkzeug zur Entschlüsselung der Geschichte dieser Kunstwerke dar. Traditionelle Methoden, die in den meisten Fällen angewendet werden, stoßen jedoch oft an ihre Grenzen, wenn es darum geht, komplexe Spuren vollständig zu erfassen. Der Einsatz digitaler Methoden, insbesondere die Anwendung von 3D-Technologien, eröffnet der Spurenanalyse eine neue Dimension, die weit über die Möglichkeiten herkömmlicher Verfahren hinausgeht. Diese Technologien ermöglichen präzise, reproduzierbare und umfassende Analysen der Materialsuren und tragen zu einem tieferen Verständnis des historischen Kontextes und damit zur Erhaltung dieser Kulturschätze bei.

Um die kunsthistorische Bedeutung von Steinskulpturen in vollem Umfang zu erschließen, ist es von entscheidender Bedeutung, diese technologischen Fortschritte in die Praxis zu integrieren und den Zugang zu diesen Werkzeugen zu erweitern. Die zunehmende Verfügbarkeit und Verbreitung fortschrittlicher digitaler Technologien ebnet den Weg für eine zukünftige Standardisierung und Systematisierung trasseologischer Methoden in der Restaurierungspraxis. Aufbauend auf den positiven Ergebnissen erster Fallstudien, hervorzuheben sind hier die Arbeiten tschechischer Autoren, insbesondere die Studien über die Steinoberflächen von Prager Gebäuden (Cihla et al. 2022a), sollten systematische Ansätze verstärkt gefördert werden, um die Trasseologie als integralen Bestandteil der Restaurierungspraxis zu etablieren. Dies könnte in Zukunft nicht nur die Erhaltung von Kunstwerken verbessern, sondern auch die Zusammenarbeit zwischen Naturwissenschaftlern, Restauratoren und Kunsthistorikern intensivieren, um ein umfassenderes Verständnis unseres kulturellen Erbes zu fördern.

Literatur

- Bessac, J-C., 1988, Problem of Identification and Interpretation of Tool Marks on Ancient Marbles and Decorative Stones, in: *Classical Marble: Geochemistry, Technology, Trade*, Herz N. and Waelkens M. (Hrsg.), Kluwer Academic Publishers, 41-53.
- Cihla, M. et al., 2022a, Stone Prague. Stoneworking of Historical Buildings of the Capital of Prague, Prague: Institute of Theoretical and Applied Mechanics of the Czech Academy of Sciences.
- Cihla, M. et al., 2022b, Stone Topography – Useful Tool in Monument Restoration Process. *Acta Polytechnica* 62 (6), Czech Technical University in Prague, 589-594.
- Friederich, K., 1932, *Die Steinbearbeitung in ihrer Entwicklung vom 11. bis zum 18. Jahrhundert*, Reprint, Ulm: Aegis, 1988.
- Gedzevičiūtė, V., 2005, Ein Blick in die Werkstatt des antiken Bildhauers, in: *Kunstwerk Werkstoff. Vom Stein zur Skulptur – vom Mineral zur Malerei*, Hodgson, I. and Emmerling, T. E. (Hrsg.), Martin von Wagner Museum und Mineralogisches Museum der Universität Würzburg, Egon, 49-53.
- Gregor, T. / Mérel-Brandenburg, A-B., 2021, Les techniques de sculpture dans l'Antiquité tardive et le haut Moyen Âge Sculptural techniques in Late Antiquity and the Early Middle Ages, in: *Les Cahiers de l'École du Louvre Recherches en histoire de l'art, histoire des civilisations, archéologie, anthropologie et muséologie* 17, 1-19.

- Hodač, J. et al., 2023, Photogrammetric Documentation of Stone Surface Topography Changes as a Tool in Conservation Praxis, *Buildings* 2023 (13), 439, 1-19.
- Hofer, P., 1968, *Die Haut des Bauwerks, Methoden zur Altersbestimmung nichtdatierter Architektur*, Institut für Geschichte und Theorie der Architektur, Basel and Stuttgart: Birkhäuser.
- Hübner, E., 1881, *Über mechanische Copieen von Inschriften*, Berlin: Weidmannsche Buchhandlung.
- Klein, U., 2007, Die Beschreibung von Werksteinoberflächen, in: *Naturstein als Baumaterial, Jahrbuch für Hausforschung*, Vol. 52, Esslingen am Neckar, Marburg: Jonas, 81-93.
- Kurapkat, D. / Wulf-Rheidt, U. (Hrsg.), 2017, *Werkspuren. Materialverarbeitung und handwerkliches Wissen im antiken Bauwesen, Internationales Kolloquium in Berlin vom 13.-16. Mai 2015, Diskussionen zur Archäologischen Bauforschung*, Vol. 12, Regensburg: Schnell & Steiner.
- Kwon, D. / Yu, J., 2019, Automatic Damage Detection of Stone Cultural Property Based on Deep Learning Algorithm, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XLII-2/W15, Ávila, 639- 643.
- Larfeld, W., 1914, *Griechische Epigraphik*, München: C. H. Beck'sche Verlagsbuchhandlung, Oskar Beck, 157-159.
- Leistikow, D., 2007, Mittelalterliche Steinwerkzeuge und ihre Arbeitsspuren, in: *Naturstein als Baumaterial, Jahrbuch für Hausforschung*, Vol. 52, Esslingen am Neckar, Marburg: Jonas, 65-80.
- Levoy, M., 2004, The Digital Michelangelo Project, in: *Exploring David. Diagnostic Tests and State of Conservation*, Firenze: Giunti, 31-37.
- Sinn, F., 2005, Werkspuren als Leitfaden der archäologischen Bestimmung. Am Beispiel einer Marmorurne (Inv. Nr H 5444) im Martin von Wagner Museum, in: *Kunstwerk Werkstoff. Vom Stein zur Skulptur – vom Mineral zur Malerei*, Hodgson, I. and Emmerling, T. E. (Hrsg.), Martin von Wagner Museum und Mineralogisches Museum der Universität Würzburg, Egon, 65-68.
- Tenschert, R., 2023, *Veränderungsgeschichten – Untersuchungen an mittelalterlichen Kirchenportalen mittels komplementärer restaurierungswissenschaftlicher Analytik*, Ph.D. thesis, Otto-Friedrich-Universität Bamberg, Bamberg.
- Trefný, M. et al., 2022, Sculpting the Glauberg "prince". A traceological research of the Celtic sculpture and related fragments from the Glauberg (Hesse, Germany), in: *PLoS ONE* 17 (8): e0271353.
- Völkle, P., 2024, Werkspuren am Stein. Entstehung – Entwicklungen – Konservierung, in: *Kölner Domblatt, Jahrbuch des Zentral-Dombau-Vereins*, Vol. 89, Füssenich, P. and Hardering, K. (Hrsg.), 98-113.
- Völkle, P., 2025, *Werkplanung und Steinbearbeitung im Mittelalter. Grundlagen der handwerklichen Arbeitstechniken im mittleren Europa von 1000 bis 1500*, Ulm: Ebner.
- Wootton, W. / Russell, B. / Rockwell, P., 2013, 'Stoneworking tools and toolmarks (version 1.0)', *The Art of Making in Antiquity: Stoneworking in the Roman World*, 1-27.