

Das Research Squirrel Engineers Network: FAIRification Tools und LOD-Projekte aus der Archäoinformatik und den Geowissenschaften

Florian Thiery, Fiona Schenk & Peter Thiery

Zusammenfassung – Innovative Ansätze zur FAIRifizierung und Vernetzung von Forschungsdaten fördern die nachhaltige Nutzung und Interoperabilität in der Archäologie und den Geowissenschaften. Linked Open Data (LOD) und Open-Source-Tools wie das SPARQL Unicorn Research Toolkit ermöglichen die semantische Verknüpfung und Abfrage von Forschungsdaten, während die fuzzy-sl Ontology Fuzzyness & Wobbliness in Geodaten modelliert und nachvollziehbar macht. Diese Methoden unterstützen die Erstellung transparenter und wiederverwendbarer Datensätze, die international und interdisziplinär verknüpft und in Forschungsnetzwerke eingebunden werden können. Ein besonderer Schwerpunkt liegt auf der Einbindung von Citizen Science, um durch standardisierte und qualitätsgesicherte Daten Beiträge zur Wissensgenerierung zu leisten. Die Verbindung semantischer Daten in community-driven Datenhubs wie Wikidata schafft neue Möglichkeiten für kollaborative und interdisziplinäre Analysen. Nachhaltigkeit, das Alignment von Community-Standards und die Sicherstellung der Datenqualität bleiben zentrale Herausforderungen, während automatisierte Validierungsmethoden und die Weiterentwicklung von FAIRifizierungstools die offene Wissenschaft weiter stärken.

Schlagwörter – Archäologie; Citizen Science; Linked Data; FAIR; SPARQL Unicorn; Wikidata; Research Software Engineering

Title – The Research Squirrel Engineers Network: FAIRification tools and LOD projects from computational archaeology and the geosciences

Abstract – Innovative approaches to the FAIRification and interlinking of research data promote sustainable use and interoperability in archaeology and geosciences. Linked Open Data (LOD) and open-source tools such as the SPARQL Unicorn Research Toolkit enable semantic linking and querying of research data, while the fuzzy-sl ontology models and clarifies fuzziness and wobbliness in geodata. These methods support the creation of transparent and reusable datasets that can be linked internationally as well as interdisciplinary and integrated into research networks. A particular focus lies on the inclusion of citizen science to contribute to knowledge generation through standardised and quality-assured data. The connection of semantic data in community-driven data hubs like Wikidata creates new opportunities for collaborative and interdisciplinary analyses. Sustainability, the alignment of community standards, and ensuring data quality remain central challenges, while automated validation methods and the further development of FAIRification tools have the potential to strengthen open science.

Key words – archaeology; Citizen Science; Linked Data; FAIR; SPARQL Unicorn; Research Software Engineering

Einleitung und Hintergrund

Die Bereitstellung von Open Data spielt eine entscheidende Rolle in der modernen Forschung, indem sie Transparenz, Zugänglichkeit und Wiederverwendbarkeit von Daten fördert. Besonders in interdisziplinären Bereichen wie der Archäologie und den Geowissenschaften tragen Open Data dazu bei, Forschungsergebnisse nachhaltig nutzbar zu machen und innovative Anwendungen zu entwickeln. Damit diese Daten jedoch effizient geteilt, gefunden und interpretiert werden können, müssen sie strukturiert und standardisiert bereitgestellt werden. Hier kommen die FAIR-Prinzipien (Findable, Accessible, Interoperable, Reusable) ins Spiel, die eine nachhaltige Nutzung von Forschungsdaten sicherstellen. Ein zentraler Ansatz zur Umsetzung der FAIR-Prinzipien ist die Nutzung von Linked Open Data (LOD), ein Konzept von Tim Berners-Lee (2006). LOD verbindet strukturierte offene Daten auf der Basis semantischer Webtechnologien – wie das Resource Description Framework (RDF), um Wissen

kontextbezogen und maschinenlesbar zu verknüpfen. Diese digitale Methodik und standardisierte Technologie stellt sicher, dass Daten nicht nur zugänglich, sondern auch interoperabel und wieder verwendbar sind (SCHMIDT, THIERY & TROGNITZ, 2022). Zur Bewertung der Qualität von LOD wird häufig das 5-Sterne-Datenmodell (HASNAIN & REBHOLZ-SCHUHMANN, 2018) herangezogen, das von Berners-Lee entwickelt wurde. Projekte, die zudem Ontologien und Schemata dokumentieren und wiederverwendbar machen, können sogar den Status von 7-Sterne-Daten erreichen (HASNAIN & REBHOLZ-SCHUHMANN, 2018; HYVÖNEN U.A., 2014). Diese erweiterten Modelle fördern die Nachhaltigkeit und Interoperabilität von Daten und tragen aktiv zur stetigen Erweiterung der *Linked Open Data Cloud*¹ und von *Knowledge Graphs*, wie etwa Wikidata oder Wikibase-Instanzen bei. Die LOD-Cloud ist ein (virtuelles) global vernetztes Ökosystem offener, strukturierter Daten, die durch semantische Webtechnologien miteinander verbunden sind und über standardisierte Formate wie RDF und SPARQL zugänglich gemacht wer-

den. Knowledge Graphen sind ein integraler Bestandteil dieser LOD-Cloud, da sie heterogene Datenquellen semantisch verknüpfen, Beziehungen zwischen Entitäten modellieren und dadurch eine kontextuelle, maschinenlesbare und interdisziplinär nutzbare Wissensbasis schaffen. Die Nachhaltigkeit von Daten in der LOD-Cloud wird durch die strukturierte und standardisierte Modellierung mithilfe von Ontologien und Schemata gefördert, da diese eine langfristige Auffindbarkeit, Zugänglichkeit und Interoperabilität der Daten gewährleisten. Durch die explizite Definition von Datenstrukturen und semantischen Beziehungen in Knowledge Graphen, wie etwa Wikidata oder Wikibase-Instanzen, wird sichergestellt, dass Informationen konsistent bleiben, einfacher aktualisiert und wiederverwendet werden können, wodurch sie langfristig in verschiedenen Kontexten und Anwendungen nutzbar bleiben. LOD können in Triplestores oder in *Solid Pods* (SAMBRA ET AL., 2016) gespeichert und zur Verfügung gestellt werden. Triplestores sind spezialisierte Datenbanksysteme, die auf RDF basieren und es ermöglichen, LOD in Form von *Subjekt-Prädikat-Objekt-Triples* effizient zu speichern, zu verwalten und über Abfragesprachen wie SPARQL abzurufen. Solid Pods hingegen sind dezentrale Datenspeicher, die es Individuen ermöglichen, ihre Linked Data unabhängig zu kontrollieren und gezielt zu teilen, wodurch Datenschutz, Datenhoheit und Interoperabilität innerhalb des Semantic Web gefördert werden. Durch die semantische Modellierung und standardisierte Metadatenformate können Forschungsdaten nicht nur veröffentlicht, sondern auch in ein globales Netzwerk eingebunden werden, das interdisziplinäre und internationale Kooperationen erleichtert. Ein besonders spannender Aspekt von Open Data in Verbindung mit LOD ist die aktive Beteiligung von Citizen Scientists. Durch standardisierte, qualitätsgesicherte Daten tragen *Citizen Scientists* maßgeblich zur Datenerfassung, -erweiterung und -analyse bei. Dies ermöglicht eine Demokratisierung der Forschung, indem nicht nur Experten, sondern auch die breite Öffentlichkeit an der Erschließung und Interpretation interdisziplinärer Daten teilhaben kann. Plattformen wie Wikidata, OpenStreetMap und domänenpezifische Wissensgraphen bieten hierfür kollaborative und transparente Werkzeuge, um Citizen Science in die wissenschaftliche Forschung zu integrieren. Die nachvollziehbare und kollaborative Erfassung und FAIRe Bereitstellung (FAIRifizierung) von Forschungsdaten wird in der Citizen Science Community immer wichtiger. Der Aspekt der Kollaboration ist entscheidend, da die FAIRifizierung von

Forschungsdaten durch den gemeinsamen Austausch von Wissen, Methoden und Ressourcen innerhalb einer Community verbessert wird, wodurch die Qualität, Validität und Interoperabilität der Daten langfristig gesichert und deren Nachnutzung in verschiedenen Disziplinen erleichtert wird. Nur so können diese Daten auch mit anderen Daten verknüpft werden und in internationale Initiativen wie z.B. NFDI4Objects (THIERY, MEES ET AL., 2023) und *Community-Data-Hubs* (z.B. Wikidata, Wikibase-Instanzen, OpenStreetMap) aktiv eingebunden werden. Dadurch entsteht u. a. ein archäologischer Wissensgraph, der zunehmend mit Daten angereichert wird. Dabei sind Free/Libre Open Source (FLOSS) Research und FAIRification Tools, die die FAIRe Bereitstellung von Daten erleichtern, leider oft nicht verfügbar. Solche Tools können jedoch von Community- und Freiwilligen-Initiativen zusammen mit LOD-Projekten als Beispielanwendungen erstellt und kuratiert werden. Eine dieser Initiativen ist das Research Squirrel Engineers Network. Das Research Squirrel Engineers Network² – gegründet 2019 zur Implementierung des SPARQL Unicorn Research Toolkits (THIERY, SCHMIDT, HOMBURG & TROGNITZ, 2020) – ist ein loser Zusammenschluss von Linked Open Data/Wikidata-Enthusiasten, Research Software Engineers und Citizen Scientists mit den Schwerpunkten Archäoinformatik, Digital Humanities und Geoinformatik. Die Mitglieder entwickeln und unterhalten zusammen Research- und FAIRification-Tools und setzen diese in konkreten Projekten um. Ein FAIRification-Tool für das digitale Datenmanagement ist das SPARQL Unicorn Research Toolkit und dessen Implementierung für QGIS. Das SPARQ Unicorn QGIS Plugin³ (THIERY & HOMBURG, 2020) ermöglicht es, Linked-Data-Anfragen in (Geo)SPARQL an Triple-Stores zu senden und bereitet die Ergebnisse für die Geocommunity in QGIS auf. Es bietet derzeit drei Hauptfunktionen: vereinfachte Abfrage von Semantic Web Datenquellen, Anreicherung von Geodaten und Transformation von QGIS-Vektorebenen nach RDF. Darauf hinaus ermöglicht das SPARQL Unicorn Ontology Documentation Tool⁴ (HOMBURG & THIERY, 2024b), z. B. per GitHub Actions, die automatisierte Erstellung von HTML-Seiten von LOD-Veröffentlichungen. Ein Beispiel ist die in Abb. 1 gezeigte Abfrage zu irischen Ogham Sites auf der Dingle-Halbinsel. Ein weiterer Service ist die *Fuzzy Spatial Locations Ontology* (THIERY, SCHENK, BAARS, TOLLE & THIERY, 2024), in der Vagheiten, Unsicherheiten und Mehrdeutigkeiten in der Georeferenzierung mit Hilfe von Semantik und einer Ontology (basierend auf der PROV-O Ontologie) FAIR

und nachvollziehbar gemacht werden. Zudem wird diese Modellierung in der *fuzzy-sl Wikibase* fortgeführt. Ein Beispiel hierfür sind Modellierungen von Fundorten der Eruption des Campanian Ignimbrite in den Phlegräischen Feldern vor ca. 39,940 yr b2k ± 150 years (SCHENK, HAMBACH, BRITZLUS, VERES & SIROCKO, 2024), die oft mit archäologischen Fundorten korrespondieren, z.B. die Toplitsa Höhle⁵ (TSANOVA ET AL., 2021) oder auch Ogham, Silver Coinage of Croton oder Samian Ware. Die *Squirrel Papers*⁶ komplementieren die Services, um eine Plattform zu schaffen, auf der Working Papers, Daten, Software, Präsentationsfolien und Poster zur Zitation veröffentlicht werden können. Begleitet werden diese Services von LOD, Wikidata, OpenStreetMap (OMS) und Wikimedia Commons Projekten, wie z.B. *Linked Open Ogham*⁷ (SCHMIDT & THIERY, 2022; THIERY, 2022), *Holy Wells in Irland*⁸ *Linked Reindeers*⁹ (THIERY, 2020) und *Campanian Ignimbrite Sites* (THIERY & SCHENK, 2023b).

Der folgende Beitrag fokussiert auf archäologische und geowissenschaftliche Services, Research & FAIRification Tools und Linked Open Data Projekte. Im Vordergrund stehen das SPARQ Unicorn Research Toolkit, insbesondere das QGIS-Plugin, die Modellierung von fuzzy spatial locations (*fuzzy-sl*), irische Ogham Steine sowie Fundorte des Campanian Ignimbrite Ausbruchs vor ca. 40.000 Jahren.

Research- und FAIRification-Tools

In diesem Kapitel werden drei Research- und FAIRification-Tools und Services vorgestellt, die von den *Research Squirrel Engineers* entwickelt wurden: das *SPARQ Unicorn Research Toolkit*, *fuzzy-sl* und *Squirrel Papers*. Diese Werkzeuge repräsentieren innovative Ansätze zur Unterstützung von Forschungsvorhaben und zur FAIRifizierung wissenschaftlicher Daten und Prozesse. Der Begriff FAIR, eingeführt durch (WILKINSON ET AL., 2016) und weiter spezifiziert für Research Software (FAIR4RS) durch (BARKER ET AL., 2022), beschreibt Prinzipien, die Daten und Software auffindbar (Findable), zugänglich (Accessible), interoperabel (Interoperable) und wiederverwendbar (Reusable) machen. Die hier vorgestellten Tools setzen diese Prinzipien gezielt um und tragen dazu bei, die Transparenz und Nachvollziehbarkeit wissenschaftlicher Arbeit zu fördern. Der Ansatz basiert auf den Grundsätzen der Offenen Wissenschaft (Open Science), wie sie von Michael Nielsen definiert wurden: „*Open science is the idea that scientific knowledge of all kinds*

should be openly shared as early as is practical in the discovery process.“ Diese Grundsätze umfassen das Dokumentieren von Methoden und Prozessen (Open Methodology), die Nutzung und Entwicklung quelloffener Technologien (Open Source), die Bereitstellung freier Daten (Open Data) und die offene Publikation von Ergebnissen (Open Access) (KRAKER, LEONY, REINHARDT, GÜ & BEHAM, 2011). Ergänzt werden sie durch Open Peer Review für eine transparente Qualitätssicherung und Open Educational Resources für die Bereitstellung freier Bildungsinhalte. Die vorgestellten Tools setzen diese Prinzipien exemplarisch um: Das SPARQ Research Toolkit (insb. das QGIS Plugin) basiert auf Open-Source-Technologie, *fuzzy-sl* ermöglicht die Arbeit mit FAIRen und offenen Daten und *Squirrel Papers* fördert Open Access. Durch diese Tools wird die Implementierung von FAIR4RS und die Förderung der offenen Wissenschaft in der Praxis konkret erfahrbar gemacht. Im Folgenden werden die genannten Tools im Detail beschrieben und ihr Beitrag zur FAIRifizierung sowie ihre Anwendungsmöglichkeiten näher beleuchtet.

SPARQ Unicorn Research Toolkit

In den Geistes- und Kulturwissenschaften spielen (semantische) Datenmodellierung und LOD für Analysen über verteilte Systeme eine zentrale Rolle. Eine besondere Dynamik hat in letzter Zeit der community-getriebene Data-Hub *Wikidata* entwickelt. Vor diesem Hintergrund wurde auf der CAA-Konferenz 2019 in Krakau die Idee des *SPARQL Unicorn* geboren. Wie bei wissenschaftlichen Konferenzen üblich, förderten Networking und Wissensaustausch – in diesem Fall im berühmten Stary Port – spannende neue Ansätze zutage: Das gemeinsame Ziel vieler Forscherinnen und Forscher, offene Daten zu veröffentlichen und community-getriebene Initiativen wie Wikidata zu unterstützen, führte zur Entwicklung eines benutzerfreundlichen Forschungstools: dem SPARQL Unicorn Research Toolkit. Dieses Toolkit soll es Forschenden ermöglichen, die von der Community bereitgestellten Daten aus Wikidata (und anderen LOD-Ressourcen) nutzbar zu machen und sie in Übereinstimmung mit den FAIR-, FAIR4RS- und Open-Science-Prinzipien zugänglich zu machen.

Das Konzept des SPARQL Unicorn basiert auf fünf Grundprinzipien (THIERY & HOMBURG, 2020): (1) Beschreiben von Daten in gut dokumentierten, semantisch strukturierten offenen Formaten; (2) Modellieren, Generieren und Veröffentlichen von Daten als 5-Sterne-Linked-Open-Data; (3) Publi-

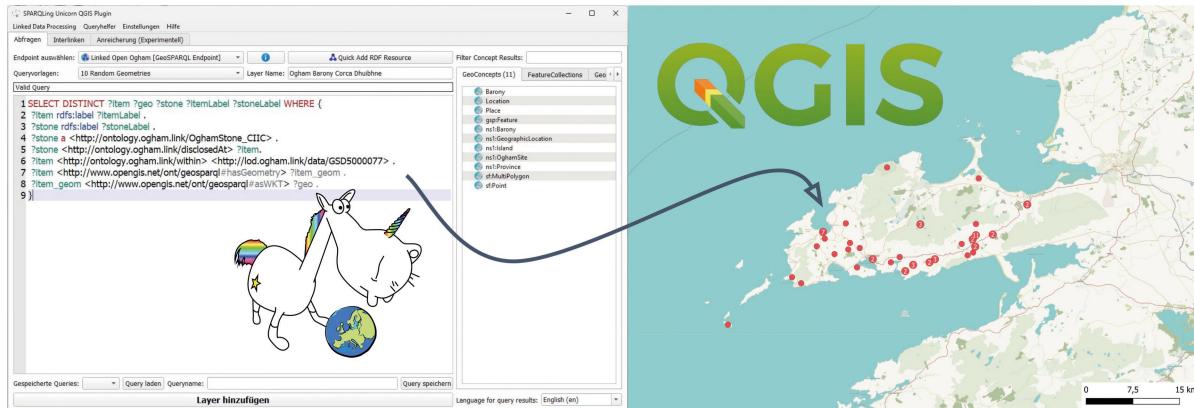


Abb. 1 links: Beispielhafte Abfrage im QGIS Plugin nach Ogham Sites auf der Dingle Halbinsel in Irland; rechts: Kartenansicht der SPARQL Abfrage zu Ogham Sites auf der Dingle-Halbinsel mit dem SPARQLing Unicorn QGIS Plugin. Florian Thiery, CC BY 4.0.

zieren von Daten in Wikidata und Verknüpfen mit anderen Ressourcen in der Linked-Open-Data-Cloud; (4) Nutzen bestehender Tools, um Wikidata dynamisch abzufragen und Echtzeit-Datenaanalysen zu ermöglichen, oder Entwickeln neuer Tools, um auch Personen ohne tiefere Kenntnisse im Bereich LOD solche Analysen zugänglich zu machen; (5) Verwenden von Wikidata und des SPARQL Unicorn Research Toolkits in Ihrer eigenen Forschung und Förderung der SPARQL Unicorn Prinzipien, um auch anderen Forschenden den Einstieg zu erleichtern. Das *SPARQ Unicorn Research Toolkit* umfasst mehrere Forschungswerkzeuge, insbesondere das *SPARQ Unicorn QGIS Plugin* (THIERY & HOMBURG, 2024a; 2020) und das *SPARQL Unicorn Ontology Documentation Tool* (HOMBURG & THIERY, 2024a; 2024b). Diese beiden Tools wurden bereits in mehreren interdisziplinären Kontexten eingesetzt, darunter in der Archäologie, bei irischen Ogham-Steinen und bei Keramikfunden aus Brandenburg, sowie in der Geowissenschaftsgemeinschaft bei der Analyse von Fundstellen des Campanian Ignimbrite. Eine Schlüsselkomponente des Toolkits ist das QGIS-Plugin, das ein FAIRification-Tool für digitales Datenmanagement darstellt. Dieses Plugin ermöglicht die Ausführung von Linked-Data-Abfragen in (Geo-)SPARQL an Triplestores und bereitet die Ergebnisse für die Geocommunity in QGIS auf. Es bietet drei Hauptfunktionen: (A) eine vereinfachte Abfrage von Semantic-Web-Datenquellen, (B) die Transformation von QGIS-Vektorebenen in RDF-Formate und (C) die Generierung von RDF-HTML-Dokumentationen. Diese Funktionen leisten einen Beitrag zur Förderung der Interoperabilität und Zugänglichkeit von Forschungsdaten und tragen zur Verbreitung

der SPARQL Unicorn Prinzipien in verschiedenen wissenschaftlichen Communities bei.

Die vereinfachte Abfrage von Semantic Web Datenquellen ist über ein nutzerfreundliches GUI (**Abb. 1**) im QGIS-Plugin möglich (auch als experimentelles Plugin aus dem Store downloadbar). Hier sind Abfragen über mehrere Knowledgegraphen und Triplestores möglich, die über einen SPARQL Endpoint verfügen. Beispiele hierfür sind: Holy Wells via Wikidata,¹⁰ Münzen aus nomisma.org, Amphoren aus den Roman Open Data, Hadrian's Wall Forts aus dem Squirrel Triplestore, historische Quellen aus FactGrid,¹¹ Ogham Steine aus dem Ogham Triplestore oder dem NFDI4Objects Knowledge Graph,¹² bzw. Linked Samian Ware¹³ aus demselben. Es können zudem Solid Pods eingebunden werden, wie z.B. Campanian Ignimbrite (CI) Findspots.¹⁴ Die Transformation von QGIS-Vektorebenen nach RDF kann an einem CI-Beispiel aufgezeigt werden. Die CSV-Datei¹⁵ (sie enthält Punktkoordinaten im WKT-Format) kann in QGIS als Vektorlayer geladen werden. Das QGIS-Plugin ermöglicht nun die Auswahl des Vokabulars (hier GeoSPARQL) und des Layers und resultiert in einer RDF-Datei,¹⁶ die bei Bedarf wieder mit dem Plugin geladen und mit SPARQL abgefragt werden kann. Auch eine RDF HTML-Dokumentation ist über das QGIS-Plugin oder z.B. über GitHub Actions möglich. Das Plugin ermöglicht die Erstellung statischer HTML-Seiten, wohingegen GitHub Actions die HTML-Seiten auch dynamisch im Web publizieren können. Beispiele hierfür sind Ressourcen aus dem Campanian Ignimbrite Projekt¹⁷ (**Abb. 2**).

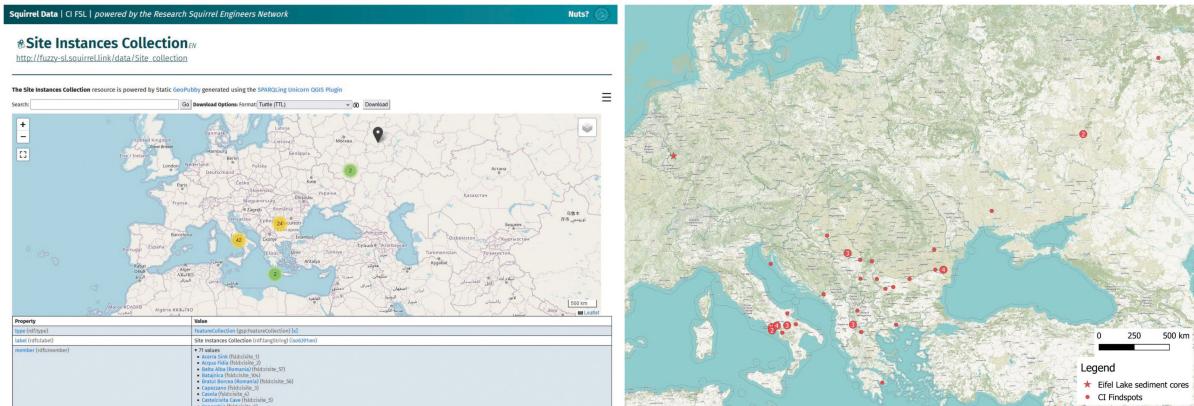


Abb. 2 links: Campanian Ignimbrite Sites (CIs) als LOD-HTML über das SPARQLing Unicorn Documentation Tool, via <https://t1p.de/2fqj1>; rechts: CIs als Cluster in QGIS, abgefragt über das SPARQLing Unicorn QGIS Plugin.
Florian Thiery / Fiona Schenk, CC BY 4.0.

Fuzzy Spatial Locations Ontology

Geodaten spielen eine zentrale Rolle in den Geistes-, Kultur- und Geowissenschaften. Insbesondere bei der Bereitstellung von Open Data gemäß den FAIR-Prinzipien ist die Angabe von Unsicherheiten und statistischen Kenngrößen wie Standardabweichungen (z.B. bei Messungen oder statistischen Auswertungen in R) essenziell. Dies fördert Transparenz, Reproduzierbarkeit und die Wiederverwendbarkeit der Daten, insbesondere in interdisziplinären Kontexten. Archäologische und geowissenschaftliche Forschung muss sich dabei häufig mit Unsicherheiten, Vagheiten und Mehrdeutigkeiten auseinandersetzen, insbesondere im Bereich der Georeferenzierung. Dies wird im Kontext von NFDI4Objects oft als „*fuzziness & wobbliness*“ bezeichnet, da es viele Teil- und Mischaspekte in den Definitionen gibt.

Vagheit (*vagueness*) ist ein Maß für die Präzision einer Aussage. Eine höhere Vagheit bedeutet, dass die Aussage weniger präzise ist und umgekehrt. Unsicherheit (*uncertainty*) bedeutet, dass Aussagen entweder wahr oder falsch sind. Manchmal wird eine Wahrscheinlichkeit für den Wahrheitsgehalt der Aussage angegeben. Beispiele hierfür sind: (i) Ein Objekt kann nicht genau datiert werden, so dass man den Datierungsrahmen so ausweitet, dass die wahre Datierung auf jeden Fall mit eingeschlossen wird (*Vagheit*); (ii) ein Objekt mit einer Darstellung ist nur teilweise erhalten, so dass nicht alles benannt werden kann (*Unsicherheit*); (iii) ein Objekt, welches heute verloren ist und dessen Gewicht in einer früheren Beschreibung mit ca. 5 g angegeben wurde, kann heute nicht mehr verifiziert werden (*Vagheit und Unsicherheit*). Die Unsicherheit/Sicherheit der Aussage steht und fällt mit der Vertrauenswür-

digkeit der Person, die das Objekt beschrieben hat. Ebenso ist zu beachten, dass die Vagheit hier nicht mit expliziten Grenzen angegeben ist und daher das ca. im Kontext interpretiert werden muss.¹⁸

Um die Qualität FAIRer Daten zu sichern und reproduzierbare Ergebnisse zu gewährleisten, ist es notwendig, Zweifel und Unsicherheiten offen zu legen und maschinenlesbar zu modellieren. Dies ist nicht nur für die Nachnutzung von Bedeutung, sondern auch ein zentraler Bestandteil der FAIRifizierung von Daten, wie sie in der NFDI angestrebt wird. Die graphbasierte Modellierung als Linked Open Data (LOD), wie von Berners-Lee vorgeschlagen, ist dabei die hier bevorzugte Methode. Nachfolgend werden zwei Modellierungsansätze näher betrachtet: die Nutzung der fuzzy-sl Ontologie als OWL und die Implementierung mit Wikibase als fuzzy-sl Wikibase. Ziel ist es, folgende Aspekte maschinenlesbar abzubilden: Ursprung der Geoinformation, Verfahren zur Ermittlung der Koordinaten, Unsicherheitsfaktoren und Nutzung von Referenzen im Semantic Web, einschließlich der semantic alignments. Durch diese Ansätze wird die Grundlage für die Interoperabilität und Nachnutzung von Geodaten geschaffen, die sowohl den Anforderungen der FAIR-Prinzipien als auch den spezifischen Herausforderungen interdisziplinärer Forschung gerecht wird (THIERY, SCHENK & BAARS, 2024; 2023; THIERY, SCHENK, BAARS ET AL., 2024).

Die Fuzzy Spatial Locations Ontology (fsl)¹⁹ (THIERY, 2023) basiert auf den Standards PROV-O, SKOS und GeSPARQL (Abb. 3). Sie orientiert sich am PROV-O-Modell, das die Konzepte von Entity, Activity und Agent definiert. In dieser Ontologie besitzen Sites (*Entitäten*) eine Geometrie, die durch eine Methode (*Aktivität*) von einer Person

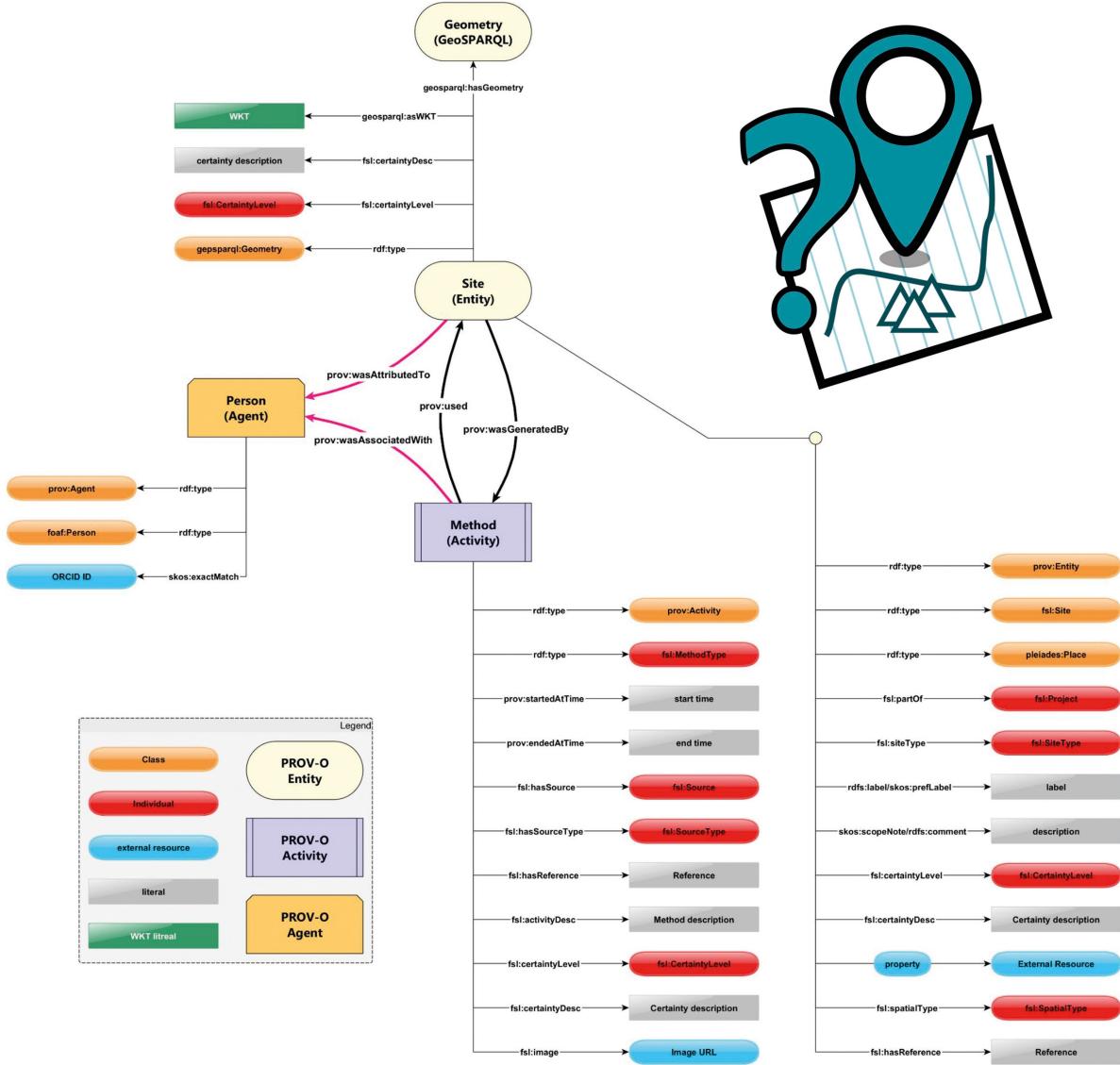


Abb. 3 Schema der „fuzzy-sl“-Modellierung, nach dem Vorbild von PROV-O, mit den Klassen Entity, Activity und Agent.
Florian Thiery, CC BY 4.0.

(Agent) erstellt wurde. Sowohl Site als auch Geometrie beinhalten zwei Eigenschaften zur Beschreibung von Unsicherheiten: `fsl:certaintyDesc` und `fsl:certaintyLevel`. Darüber hinaus können Sites durch zusätzliche Eigenschaften wie `fsl:hasReference` (für Bücher) oder exactMatch-Eigenschaften aus dem SKOS-Vokabular (für Online-Ressourcen) näher beschrieben werden. Die Beschreibung der Methode erfolgt durch Angaben zu Quellen (`fsl:hasSource`, `fsl:hasSourceType`), Referenzen (`fsl:hasReference`), methodischen Details (`fsl:activityDesc`) sowie Informationen zu Unsicherheiten (`fsl:certaintyLevel`, `fsl:certaintyDesc`). Beispiele hierfür sind aus dem CI-Projekt der *Urluia Steinbruch* (`fsld:cisite_52`;²⁰

siehe auch THIERY & SCHENK (2023a) mit Informationen aus FITZSIMMONS & HAMBACH (2014) und PÖTTER ET AL. (2021), *Susak Island* (`fsld:cisite_48`), die *Crvena Stiljena Höhle* (`fsld:cisite_51`), der *Lake Ohrid* (`fsld:cisite_41` und `fsld:cisite_49`), sowie das *Lower Danube Basin* (`fsld:cisite_55`); oder aus dem Projekt *Silver Coinage of Crotone Fiume Esaro 1967 (gennaio)* (`fsld:croontsite_3003`), *Curinga 1916* (IGCH 1881 / Noe 285) (`fsld:croontsite_3004`), *Curinga, 30 km. WSW of Catanzaro, Bruttium* (`fsld:croontsite_1007`), oder *Taranto, Via Oberdan* (`fsld:croontsite_1001`).

Die Implementierung dieses Ansatzes in einer Wikibase Instanz (fuzzy-sl Wikibase;²¹ Abb. 4) beruht auf der Idee der Modellierung von Ge-

 Ai	<p>has coordinate</p> <p>52°6'37.1"N, 10°28'23.5"W</p> <p>certainly level: High</p> <p>certainly description: on-site survey at exhibition area</p> <p>method used: on-site survey</p> <p>acting person: Florian Thiery</p> <p>source type (detail): on-site survey (source type)</p> <p>source type (generic): on-site survey (source type)</p> <p>method description: on-site survey in the wild</p> <p>precision: ±0.0001°</p> <p>location type: Exhibition Site</p> <p>point type: Exhibition</p> <p>0 references</p>	<p>has coordinate</p> <p>50°16'57.0"N, 6°35'42.4"E</p> <p>certainly level: High</p> <p>certainly description: stated in scientific paper, Schenk et al. (2024), fig. 1</p> <p>method used: Georeferencing</p> <p>acting person: Fiona Schenk</p> <p>source type (detail): site survey</p> <p>source type (generic): Paper</p> <p>method description: Textual Description</p> <p>precision: ±0.001°</p> <p>location type: Finds spot</p> <p>point type: Investigation Place</p> <p>+ 1 reference</p> <p>reference URL: https://doi.org/10.3390/quatP2020017</p>
 Aii	<p>has coordinate</p> <p>52°6'37.1"N, 10°28'23.5"W</p> <p>certainly level: Low</p> <p>certainly description: Macalister (1945, 170: "This stone was lying prostrate on the summit of the promontory called Dunmore Head, when discovered by the Cork antiquaries Windele, Abell, and Hogan, in 1838, and was re-erected in the following year by a local priest, Rev J. Casey".</p> <p>method used: Georeferencing</p> <p>acting person: Florian Thiery</p> <p>source type (generic): Textual Description</p> <p>source type (detail): Paper</p> <p>method description: found in old documents</p> <p>precision: ±0.0001°</p> <p>location type: Finds spot</p> <p>point type: Location of a Place as a Concept</p> <p>0 references</p>	<p>has coordinate</p> <p>44°5'40.9"N, 27°54'47.6"E</p> <p>certainly level: Medium</p> <p>certainly description: Fitzsimmons et al. (2014), p.76: "In this paper we investigate [...] the site of the Urnfield culture in the Dobrogea loess plateau [...] some 15 km south of the Danube River. The site is located in the Quaternary-spitifltered Cretaceous-Tertiary-limestone basement rocks of the Dobrogea Plateau (Fitzsimmons et al., 2014; Fitzsimmons and Obreit, 2014; Obreit et al., 2017)." Georeferencing</p> <p>acting person: Fiona Schenk</p> <p>source type (detail): Paper</p> <p>source type (generic): Textual Description</p> <p>method description: set a location based on Fitzsimmons et al. (2014), p.76 and Potter et al. (2021), p.5 using OSM Way 84979564</p> <p>precision: ±0.0001°</p> <p>location type: Finds spot</p> <p>point type: Location of a Place as a Concept</p> <p>+ 1 reference</p> <p>reference (String): Fitzsimmons et al. (2014), p.76</p> <p>Potter et al. (2021), p.5</p>

Abb. 4 Exemplarische Wikibase-„fuzzy-s/-Modellierung von Ai/Aii: Ogham Stone Coumeenole North (Q131) mit aktuellem Ort (Ai) und Fundort (Aii); B: Campanian Ignimbrite Findspot Auel Maar AU3 (Q70); C: Campanian Ignimbrite Findspot Urluia Quarry (Q73).

Florian Thiery, CC BY 4.0.

olocation Metadata (GLM) als Statements und der *Coordinate Metadata* (CM) als zurzeit 10 Qualifier. GLM sind z.B. *relatedTo* (P10) [Ressource in der LOD Cloud], *hasReference* (P11) [String: literature quote], *hasSpatialType* (P8) [z. B., Inhabited Place, River, Modern Region, Maar, Cave, Supervulcano, Canal], *hasSpatialCategory* (P26) [z. B. Geology, Archaeology] und *locatedInTheAdministrativeTerritorialEntity* (P32) [Wikidata Item]. Die zehn CM-Qualifier für *hasCoordinate* (P4) sind: *precision* (P23) [z. B. ±0.0001° für POINT(23.1311 37.4226) des Franchthi Cave Camapnian Ignimbrite Findspot], *certaintyLevel* (P5) [low, medium, high, dubious], *certaintyDescription* (P13) [String], *methodUsed* (P7) [Georeferencing, External Repository, on-site survey], *methodDescription* (P15) [String], *actingPerson* (P14) [Item P1 Person (Q21)], *sourceTypeGeneric* (P6) / *sourceTypeDetail* (P16) [z. B., Textual Description, Paper, Open Street Map, on-site survey], *locationType* (P24) [Finds spot, Eruption Site], *pointType* (P33) [Representative Point, Place as a Concept, Location of a Place as a Concept, Natural Place, Investigation Place]. Beispiele hierfür sind im CI-Projekt das *Auel Maar AU3* (fslwd²²:Q70), *Pompeii Casa della Fontana Piccola* (fslwd:Q136), oder die *Toplitsa Cave* (fslwd:Q115), aus dem Ogham-Projekt *UCC Stone Corridor IV* (fslwd:Q74) oder *Coumeenole North* (fslwd:Q131),

bzw. aus der Samian Research Datenbank *London (Londinium)* (fslwd:Q101) oder *Southwark/London Bridge* (fslwd:Q108).

Squirrel Papers

Die *Squirrel Papers* dienen als Plattform, auf der Working Papers, Daten, Software, Präsentationsfolien und Poster zur Zitation veröffentlicht werden können. Die Squirrel Papers werden auf GitHub²³ und Zenodo²⁴ gehostet und bieten so die Möglichkeit zur Versionierung, Releases und Zitation via DOI. Beispiele aus dem Volume 6²⁵ (2024) sind fünf Issues (vier Issues sind Special Issues zu Daten und Software [SI-2], Konferenzen [SI-3], NFDI [SI-4] und zum UK-Ireland DH Association Annual Event 2024 at UCC [SI-5]). Diese beinhalten z. B. das Release v0.17 des SPARQ Unicorn QGIS Plugins (THIERY & HOMBURG, 2024b) sowie die Präsentationsfolien zu diesem Aufsatz (THIERY, SCHENK, SCHMIDT U. A., 2024).

Linked Open Data Projekte

In diesem Kapitel werden vier exemplarische Projekte vorgestellt, die den Einsatz von Linked Open Data (LOD) in verschiedenen Kontexten demonstrieren: Linked Open Ogham, Campanian

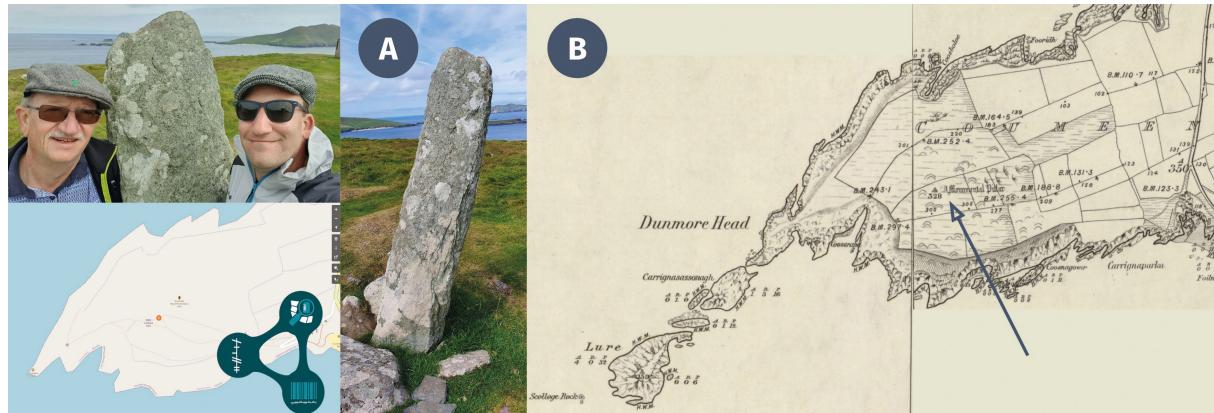


Abb. 5 Ogham Steine in der „freien Wildbahn“ mit Florian und Peter Thiery. A: CIIC 178, Coumeenole North / Dunmore Head, OSM node/5145413640; B: CIIC 178, Coumeenole North / Dunmore Head, verzeichnet auf Ordnance Survey / NLS (1895b, 1895a). Fotos: Florian Thiery / Peter Thiery, CC BY 4.0; OSM-Karte: OpenStreetMap Mitwirkende, ODbL; antike Karte: Ordnance Survey / NLS.

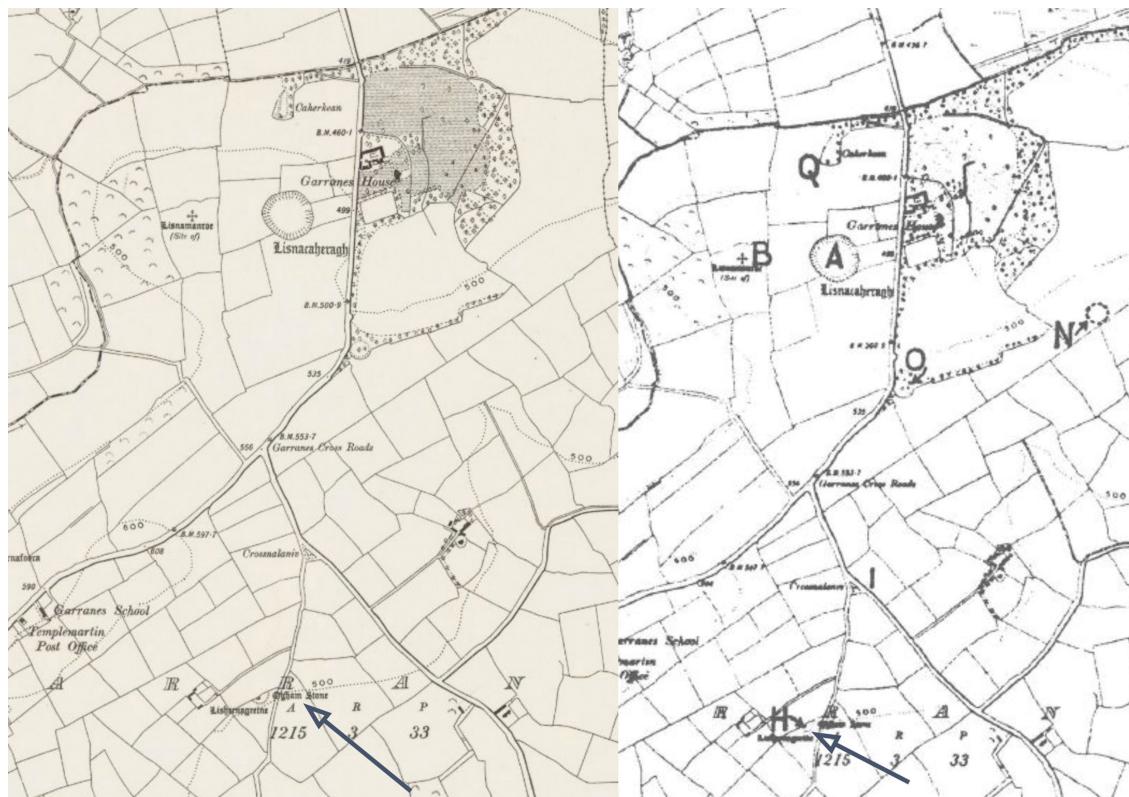


Abb. 6 links: CIIC 81, gefunden in Garranes (Lisheenagreine), verzeichnet auf Ordnance Survey / NLS, (1903); rechts: Fundort im Grabungsbericht (Ó RIORDAIN & RYAN, 1941). links: National Library of Scotland (NLS), CC BY 4.0; rechts: Ó RIORDAIN & RYAN (1941, fig. 2), basierend auf Ordnance Survey / NLS (1903).

Ignimbrite Findspots, Holy Wells in Ireland und Linked Reindeers – Rock Art in Alta. Diese Projekte verdeutlichen, wie moderne Technologien und semantische Modellierung zur Vernetzung

und Bereitstellung von Daten beitragen können. Für die Projekte der NFDI4Objects und des LEIZA fungiert der LOD Hub archaeology.link (THIERY & MEES, 2024) als zentraler Service. Mit-

hilfe der Linked Archaeological Data Ontology (LADO) unterstützt dieser Hub die strukturierte und semantische Integration von archäologischen Daten in die LOD-Cloud. Die Einbindung in und von Knowledge Graphs, wie etwa Wikidata oder Wikibase-Instanzen, ist ein weiterer wesentlicher Bestandteil moderner LOD-Projekte. Auch externe Datenquellen wie OpenStreetMap (OSM) können integriert werden, um die semantische Verknüpfung und geografische Kontextualisierung zu erweitern. Im Folgenden werden die vier Projekte detailliert vorgestellt, um die praktischen Anwendungen und Vorteile von LOD in unterschiedlichen wissenschaftlichen und kulturellen Kontexten aufzuzeigen.

Linked Open Ogham

Ogham, ein Schriftsystem des frühen Mittelalters, das primär zwischen dem 4. und 7. Jahrhundert n.Chr. verwendet wurde, repräsentiert eine bedeutende Quelle für die Erforschung der Sprache, Kultur und Gesellschaft des frühmittelalterlichen Irlands. Diese Schrift, die aus Kerben und Linien entlang einer zentralen Achse besteht, ist vor allem auf aufgerichteten Steinen in Irland und Teilen Großbritanniens überliefert. Ihre archäologische Relevanz ergibt sich aus mehreren Aspekten, die linguistische, soziale und territoriale Dimensionen umfassen. Ogham-Inschriften bieten die ältesten schriftlichen Zeugnisse der irischen Sprache und sind daher für die historische Linguistik von unschätzbarem Wert. Darüber hinaus enthalten viele Ogham-Inschriften Hinweise auf Namen und Abstammungen, die Rückschlüsse auf soziale Hierarchien und genealogische Strukturen zulassen. Dies verdeutlicht die zentrale Rolle von Familienverbindungen und sozialem Status in der damaligen Gesellschaft. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Nutzung von Ogham-Steinen zur Markierung von Landbesitz oder territorialen Grenzen. Diese Funktion unterstreicht ihre Bedeutung als archäologische Quellen für die Rekonstruktion von Siedlungsmustern und der politischen Geografie des frühmittelalterlichen Irlands. Auch der kulturelle und religiöse Kontext, in dem Ogham-Steine geschaffen wurden, ist bemerkenswert. Einige dieser Steine kombinieren heidnische und christliche Symbole, was auf eine Übergangszeit zwischen beiden Glaubenssystemen hinweist. Sie liefern somit Einblicke in die komplexen Prozesse der Christianisierung und deren Einfluss auf die lokale Kultur (MACALISTER, 1945; MACMANUS, 1997; ZIEGLER, 1994). Die geografische Verbreitung von Ogham-Steinen (SCHMIDT & THIERY, 2022; THIERY, 2022) z. B. auf der Dingle-Halbinsel und in Gar-

rane (Abb. 5-6) bietet wichtige Hinweise auf kulturellen Austausch und Migration. Im Folgenden werden zwei exemplarische Steine (*in situ* und in einer musealen Ausstellung) näher betrachtet, um die archäologische und kulturelle Bedeutung dieser Monuments zu verdeutlichen:

- (A) CIIC 178, Coumeenole North / Dunmore Head (MACALISTER, 1945, 170-171; Abb. 5): An einem der westlichsten Punkte Europas gelegen, spiegelt dieser Stein kulturelle Interaktionen wider, die über die Seewege des Atlantiks stattfanden. Die Inschrift *ERC MAQI MAQI-ERCIA-S-MU DOVINIA* („Erc, Sohn des Mac-Erce, Nachkomme von Duibne“) weist auf die regionale Identität und möglicherweise auf die Rolle dieses Gebiets als Knotenpunkt für Handel und kulturellen Austausch hin. Die Nähe zu einem Promontory Fort, das durch umfangreiche Befestigungsanlagen gekennzeichnet ist, und die Berichte über eine unterirdische Struktur mit gefundenen Knochen und einem eingravierten Kreuz belegen die strategische und symbolische Bedeutung des Standorts.
- (B) CIIC 81, Garranes/Lisheenagreine (MACALISTER, 1945, 83-84; Abb. 6): Dieser Stein, der in der Nähe eines Ringforts (Rath Lisheenagreine) entdeckt wurde, verdeutlicht die Beziehung zwischen Ogham und Siedlungsstrukturen. Ringforts, wie das nahegelegene Rath Lisnacaheragh, dienten als soziale und wirtschaftliche Zentren, in denen Macht und Eigentum manifestiert wurden. Der Fundort des Steins in einem Souterrain innerhalb der Anlage und seine spätere Überführung in das Museum des University College Cork (UCC) im UCC Stone Corridor zeigen die historische und moderne Bedeutung dieser Artefakte.

Das Linked Open Ogham Projekt umfasste die Digitalisierung analoger Quellen und die semantische Verknüpfung bereits digitaler Ressourcen zu Ogham-Steinen und der Ogham-Schrift sowie deren Abbildung als LOD in Wikidata (THIERY, 2022) und OSM (Abb. 7). Dies resultiert in der Analyse unter anderem in Density Maps (mithilfe der statistischen Skriptsprache R) und klassischen Verbreitungskarten (SCHMIDT & THIERY, 2022), die z. B. mit dem SPARQ Unicorn QGIS Plugin erstellt werden können (Abb. 8). Die zuvor erwähnten Beispiele lassen sich in LOD/Wikidata wie folgt ausdrücken und sind in historischen Karten/Grabungsberichten vermerkt: CIIC 178 (ogd:Y10000088) in Ordnance Survey / NLS (1895b, 1895a) sowie CIIC 81 (ogd:Y10000303) in Ordnance Survey / NLS (1903) und Ó Ríordáin & Ryan (1941). Insbesondere die

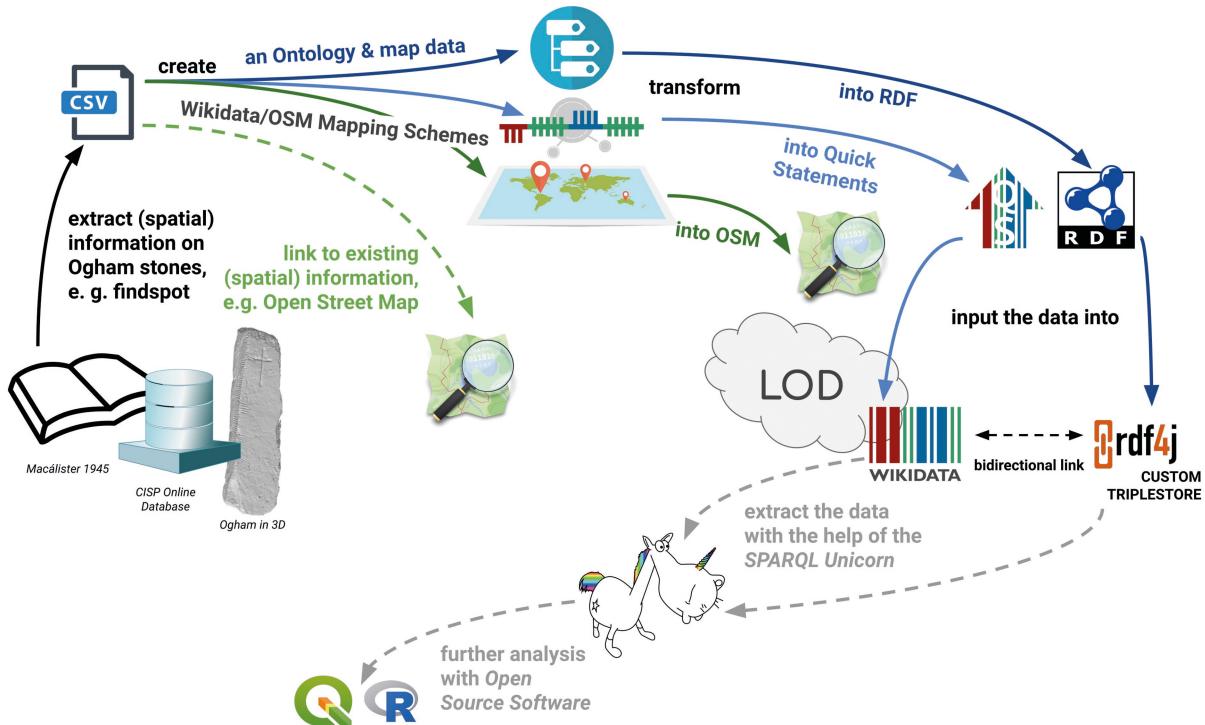


Abb. 7 Workflow im Linked Open Ogham Projekt. Florian Thiery, Timo Homburg, Sophie C. Schmidt und Martina Trognitz, CC BY 4.0, via Wikimedia Commons.

3D-Dokumentation mit photogrammetrischen Methoden (z.B. Structure from Motion oder Streifenlichtprojektion) im *Ogham in 3D Project* und *OG(H)AM Project*, wie auch durch Citizen Scientists mit Smartphone Apps wie *KIRI Engine* und deren Publikation²⁶ auf Plattformen wie Sketchfab oder mit der Open Source Software *3DHOP* stellt einen wichtigen Teil zur FAIRem Ogham dar (Abb. 9). Gerade die Kombination mit *Semantic Kompakkt* als 3D-Annotationstool,²⁷ welches auf einer Wikibase als semantische Wissensdatenbank basiert, ermöglicht so *federated queries* zwischen verschiedenen Wikibase-Instanzen wie *Semantic Kompakkt* und Wikidata,²⁸ bzw. Wikidata, FactGrid und fuzzy-sl.²⁹

Die Verknüpfung der digitalisierten Ogham-Steine mit anderen relevanten Ressourcen wie geologischen, geografischen, epigrafischen und historischen Repositoryn eröffnet neue multidisziplinäre Forschungsansätze. Beispielsweise ermöglicht die Kombination von georeferenzierten Ogham-Daten mit (historischen) Landschafts- und geologischen Karten eine präzisere Einordnung der Fundorte in ihren natürlichen Kontext, was insbesondere für die Analyse von Standortwahl und Umweltbedingungen von Bedeutung ist. Durch die Anbindung an historische Textdatenbanken wie z.

B. CELT (Corpus of Electronic Texts), die Royal Irish Academy's Digital Archive und in TEI-EpiDoc modellierte neue und korrigierte Darstellungen aus dem *Ogham in 3D*³⁰ und *OG(H)AM*³¹ Projekt können epigrafische und literarische Quellen vernetzt werden, um eine umfassendere Interpretation der Inschriften zu ermöglichen. Darüber hinaus erlaubt die Integration von 3D-Modellen in digitale Sammlungen wie Sketchfab, der Deutschen Digitalen Bibliothek – Kultur und Wissen Online (DDB), oder das Europeana-Portal eine breitere Zugänglichkeit und Interaktion mit diesen Artefakten. Die Verknüpfung der 3D-Modelle mit Wikidata-Entities, Wikimedia Commons Medien, OpenStreetMap-Daten und Wikipedia-Einträgen ermöglicht es, verschiedene Visualisierungen, Metadaten und Kontextinformationen in einem Knowledge Graph zu vereinen. Dies ist nicht nur für Forschende von Bedeutung, sondern unterstützt auch Bildungs- und Citizen Science-Initiativen (insbesondere auch in Irland und Schottland), indem es ein tieferes Verständnis der Ogham-Inschriften durch interaktive und visuelle Zugänge ermöglicht. Ein weiteres Beispiel für den Mehrwert dieser Verknüpfungen ist die Nutzung von *Semantic Kompakkt* zur semantischen Annotation der 3D-Modelle. Dadurch kön-

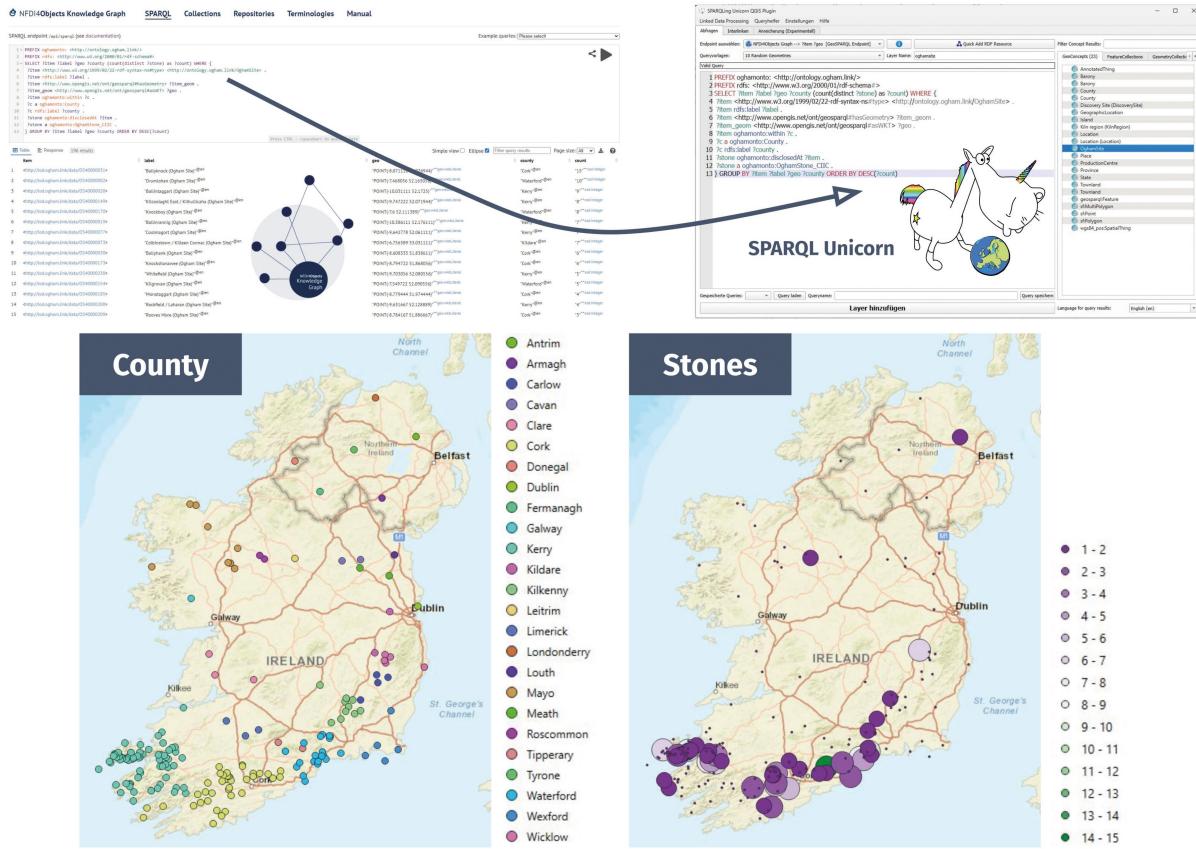


Abb. 8 Schema zur Darstellung einer Abfrage des NFDI4Objects Knowledge Graphs nach Irischen Ogham Steinen, deren County und Anzahl, via <https://t1p.de/v0lg7>, über das SPARQLing Unicorn QGIS Pluin. Florian Thiery, CC BY 4.0.

nen spezifische Merkmale der Ogham-Insschriften, wie einzelne Zeichen oder Beschädigungen, präzise dokumentiert und mit anderen archäologischen Objekten in LOD-Umgebungen vernetzt werden. Die Verwendung von Ontologien wie CIDOC CRM zur Standardisierung dieser Annotationen gewährleistet eine nachhaltige und interoperable Nutzung der Daten über verschiedene Plattformen hinweg. Insgesamt trägt die erweiterte Verknüpfung von Ogham-Daten mit georeferenzierten Informationen, historischen Quellen und modernen 3D-Technologien zur Entwicklung eines umfassenden digitalen Ökosystems bei, das neue Forschungs- und Vermittlungswege eröffnet und den Mehrwert von LOD für die interdisziplinäre Wissenschaft verdeutlicht.

Campanian Ignimbrite Findspots

Die Asche des Campanian Ignimbrite ist ein phönolithischer bis trachytischer Tuff aus einem spätpleistozänen Vulkanaustrich, datiert auf ca. $39,940 \text{ yr b2k} \pm 150$ (SCHENK, HAMBACH, BRITZIUS, VERES & SIROCKO, 2024) – offenbar der größte

Ausbruch während des MIS 3 in Europa (SILLENI, GIORDANO, ISAIA & ORT, 2020), der sich über Europa verteilte³² (THIERY & SCHENK, 2023b). Sie stammt aus den Campi Flegrei in der Region Kampanien, die von einer Caldera geprägt ist. Diese charakteristische Struktur entstand während zweier großer Caldera-Einbrüche, die mit den Eruptionen der Campanian Ignimbrite (CI/Y-5) im MIS 3 und dem jüngeren Neapolitan Yellow Tuff (NYT) im späten MIS 2 verbunden sind. Fisher und Schmincke beschreiben den Plinianischen Charakter der Eruption, bei dem Gase viele Kilometer in die Atmosphäre transportiert werden und sogar die Stratosphäre erreichen können (FISHER & SCHMINCKE, 1984). Fedele et al. (2003) berechneten das Magmavolumen auf mindestens 200 km^3 . Basierend auf einer Studie von Silleni et al. (2020) wird das gesamte eruptierte Volumen inzwischen auf $457\text{--}660 \text{ km}^3$ geschätzt. Dieses Volumen entspricht einer Eruptionsstärke von 7,7–7,8 und einem Vulkanexplosivitätsindex (VEI) von 7, was die Eruption zur größten in Europa während des späten Pleistozäns und wahrscheinlich darüber hinaus

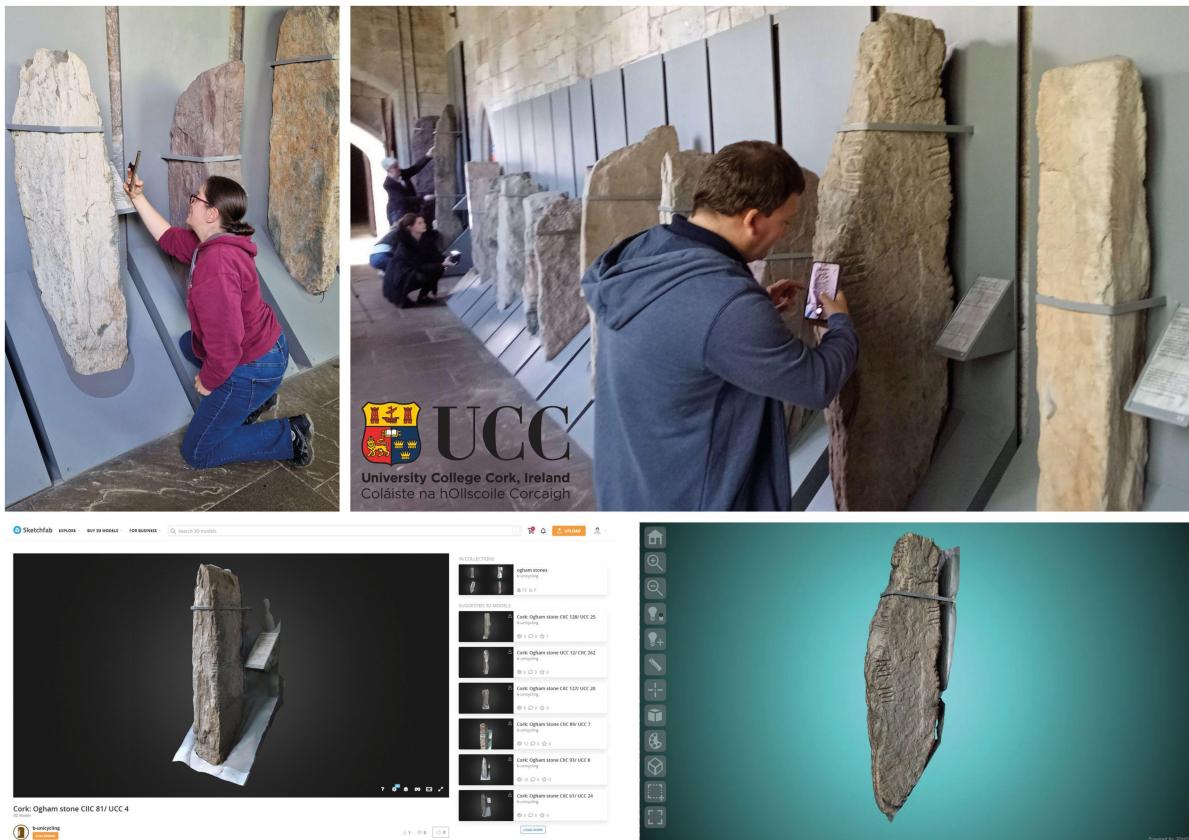


Abb. 9 oben: Bilder bei der Aufnahme von Fotoserien für SfM-Prozessierung mit der KIRI Engine App im University College Cork (UCC), links Anne-Karoline Distel, rechts: Florian Thiery mit #4; unten: Resultierende 3D-Modelle im 3D-Viewer, links in Sketchfab, via <https://skfb.ly/oVOIH> und rechts über 3DHOP, via <https://3d.squirrelbase.net/?model=CO074-148--->.
Florian Thiery / Anne-Karoline Distel, CC BY-NC-SA 4.0.

macht. Die CI/Y-5 dient daher als ein zentraler zeitlicher Marker für die Quartärstratigrafie in Europa (SILLENI ET AL., 2020). Dies umfasst marine Aufzeichnungen (PATERNE ET AL., 1999; TON-THAT, SINGER & PATERNE, 2001), terrestrische Sequenzen (VERES ET AL., 2013), Höhenumgebungen (FEDELE ET AL., 2003; GIACCIO ET AL., 2008), Seeablagerungen (NARCISI, 1996) und zahlreiche archäologischen Stätten (SCHENK ET AL., 2024a).

Der Ausbruch des CI hatte weitreichende klimatische und ökologische Folgen. Die Freisetzung großer Mengen von Asche und Gasen, insbesondere Schwefeldioxid, führte zu einer Abkühlung des Klimas, einem sogenannten vulkanischen Winter. Dies könnte zu erheblichen Veränderungen der Vegetation und damit der Lebensräume geführt haben. Für Europa wird angenommen, dass die abrupten Umweltveränderungen durch den Ausbruch die Verbreitung von Tier- und Pflanzenarten beeinflussten. Der CI ist ein unverzichtbarer Bezugspunkt für die Archäologie und Paläoanthropologie, da sie

eine eindeutige und weit verbreitete geologische Marker-Schicht darstellt. Die Identifizierung von CI-Tephra in archäologischen Kontexten erlaubt es, Fundstätten präzise auf das Alter von etwa 40.000 Jahren zu datieren. Dies ist insbesondere für den Übergang vom Mittel- zum Jungpaläolithikum von Bedeutung, der zeitlich mit dem Rückgang der Neandertaler und der Ausbreitung des modernen Menschen in Europa zusammenfällt. CI-Asche ist nicht nur ein stratigrafisches Hilfsmittel, sondern bietet auch Einblicke in die Umweltbedingungen, unter denen frühe menschliche Populationen lebten. Zum Beispiel lässt sich untersuchen, wie Populationen auf plötzliche Umweltveränderungen reagierten oder wie sich Migration und Verteilung von Gruppen durch klimatische Herausforderungen veränderten (FITZSIMMONS, HAMBACH, VERES & IOVITA, 2013; LOWE ET AL., 2012). Die Verbreitung der CI-Asche reicht weit über den Ursprungsort in Südalien hinaus. Sie wurde in Europa, dem Mittelmeerraum und sogar im Nahen Osten identifiziert (THIERY &

(SCHENK, 2023) (Abb. 10). Solche weiten Asche-verbreitungen sind in Höhlen mit bedeutenden archäologischen Funden dokumentiert. Zugleich findet man sie in rein geologischen Kontexten wie Sedimenten von Seen und Meeren, was die robuste Nachweisbarkeit der Asche zeigt. Die CI-Eruption stellt somit eine Schlüsselressource für die Archäologie dar, da sie nicht nur als geochronologischer Marker fungiert, sondern auch Einblicke in die Bedingungen bietet, die die Entwicklung und Verbreitung früher menschlicher Populationen prägten.

Ziel des *campanian-ignimbrite-geo* Projekts ist es, die Fundorte von CI-Nachweisen mit deren wissenschaftlicher Publikation in Kombination mit Wikidata und OSM-Referenzen semantisch zu modellieren und als LOD, bzw. in der fuzzy-sl Wikibase zu publizieren. Beispiele für archäologische Fundorte mit CI-Funden sind in Pompeii (ROVELLA ET AL., 2018) „*Casa della Fontana Piccola*“ (fslwd:Q136), „*Via dell'Abbondanza*“ (fslwd:Q137)

oder „*Casa della Caccia Antica*“ (fslwd:Q138). Wie schon erwähnt lassen sich in vielen Höhlen archäologische Funde und CI-Nachweise finden: „*Toplitsa Cave*“ (TSANOVA ET AL., 2021) als fslwd:Q115, „*Franchthi Cave*“ (FEDELE ET AL., 2003) als fslwd:Q111, oder „*Crvena Stiljena Cave*“ (MORLEY & WOODWARD, 2011) als fslwd:Q89. Als reine geowissenschaftlichen Funde sind „*Urluia*“ (FITZSIMMONS & HAMBACH, 2014; PÖTTER ET AL., 2021), näher beschrieben in (THIERY & SCHENK, 2023a; Abb. 11), sowie ein Fundort im „*Toten Meer*“ (KEARNEY ET AL., 2024) als fslwd:Q134. Besonders hervorzuheben sind aus geowissenschaftlicher Sicht die Funde im *Auel Maar AU3/AU4* (fslwd:Q70/ Q84) und im *Dehner Mar DE3* (fslwd:Q85) aus Schenk, Hambach, Britzius, Veres & Sirocko (2024). Das Dehner und Auel Maar in der Vulkaneifel sind geologisch und archäologisch bedeutsame Formationen, die durch phreatomagmatische Explosionen entstanden sind. Diese Maare fungieren als Archive für Umwelt- und

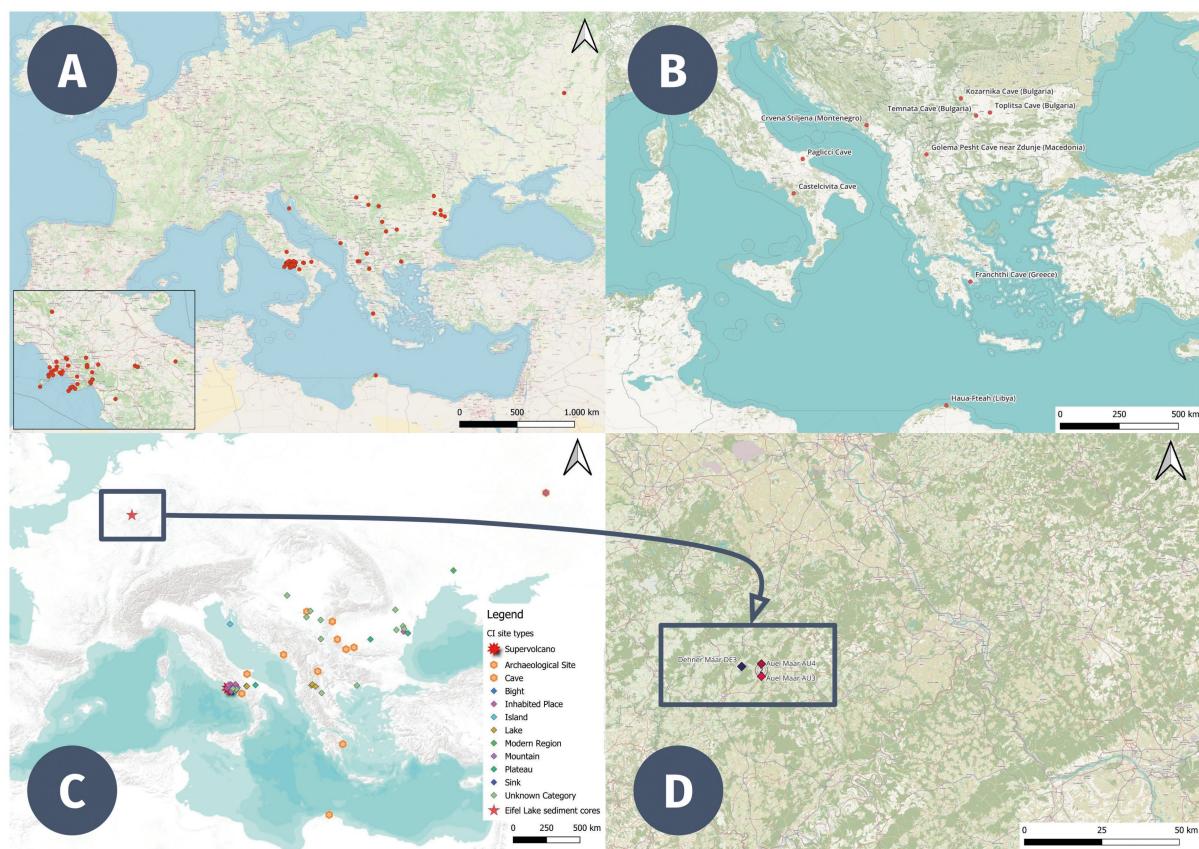
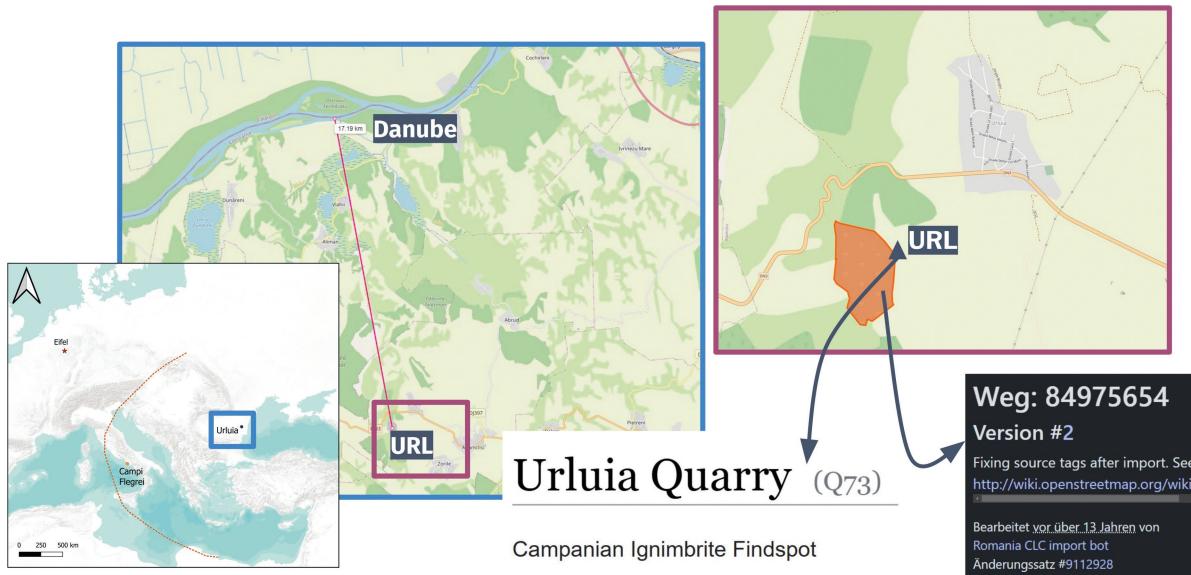


Abb. 10 Campanian Ignimbrite (CI) Fundorte. A: Beispielhafte Kartierung von CI-Fundorten; B: CI-Fundorte, die auch Höhlen sind; C: CI-Fundorte, kategorisiert nach Typen; D: CI-Fundorte in der Eifel im Auel und Dehner Maar nach (SCHENK ET AL., 2024a, fig. 1).
Florian Thiery / Fiona Schenk, CC BY 4.0.



Klimaveränderungen sowie als Belege für die Verbreitung des CI. Die Ablagerungen des CI-Ausbruchs sind in den Sedimenten der Maare nachweisbar und dokumentieren den Transport von Vulkanasche über weite Strecken sowie mögliche klimatische Auswirkungen wie eine vorübergehende Abkühlung. Diese Ascheschicht dient als präziser stratigrafischer Marker zur Rekonstruktion von Umweltveränderungen. Die Maare der Eifel waren zudem für prähistorische Gesellschaften wichtige Lebensräume, da ihre fruchtbaren Böden und Wasserressourcen Besiedlungen begünstigten. Archäologische Funde in der Umgebung zeigen, dass die Region bereits seit der Steinzeit bewohnt war. Pollenanalysen aus den Sedimenten geben Hinweise auf Vegetationsveränderungen infolge des CI-Ausbruchs, etwa die Zunahme von Pionierarten, sowie auf die Landnutzung durch prähistorische Menschen. Die Maare der Eifel bieten somit wertvolle Einblicke in die Wechselwirkungen zwischen Vulkanismus, Klima und menschlicher Anpassung und unterstreichen ihre Bedeutung für interdisziplinäre Forschungen zur Geologie und Archäologie des Quartärs.

Die Integration archäologischer und geologischer Daten in einer semantisch strukturierten Wissensbasis, wie der Wikibase, ermöglicht eine ganzheitliche Betrachtung der Auswirkungen

des Campanian Ignimbrite-Ausbruchs auf Umwelt und menschliche Besiedlung. Durch die Verknüpfung geologischer Analysen mit archäologischen Fundstellen lassen sich Rückschlüsse auf die Verbreitung der vulkanischen Asche und ihre langfristigen ökologischen sowie kulturellen Folgen ziehen. Diese methodische Zusammenführung fördert die Interoperabilität zwischen Fachdisziplinen, indem sie standardisierte Metadaten, räumliche Analysen und zeitliche Korrelationen ermöglicht. Dadurch wird ein besseres Verständnis der Wechselwirkungen zwischen Naturkatastrophen und menschlicher Anpassung geschaffen, während die semantische Strukturierung eine nachhaltige und wiederverwendbare Datenbasis für zukünftige Forschungen bereitstellt.

Holy Wells in Ireland

Irische Holy Wells sind archäologische Zeugnisse, welche die Verbindung von Landschaft, Ritual und sozialer Identität in der irischen Geschichte lebendig werden lassen. Diese heiligen Quellen, tief verwurzelt in der irischen Tradition, verkörpern eine vielschichtige kulturelle Entwicklung, die von vorchristlichen, keltischen Riten bis hin zu christlicher Verehrung reicht. Aus archäologischer Perspektive sind sie nicht nur physische Relikte vergangener Epochen, sondern

auch zentrale Orte ritueller Praktiken, sozialer Interaktionen und spiritueller Überlieferungen (HEALY, 1884; RAY, 2014). Ihre Widmung an Heilige wie die Jungfrau Maria oder lokale Schutzpatrone unterstreicht ihre Bedeutung innerhalb der religiösen und kulturellen Landschaft. Im County Kilkenny sind Holy Wells besonders zahlreich und archäologisch bedeutsam. Diese Quellen finden sich oft in der Nähe historischer Siedlungen, Klöster oder entlang alter Pilgerrouten. Sie waren über Jahrhunderte hinweg nicht nur spirituelle Zentren, sondern auch soziale Treffpunkte, an denen Rituale der Heilung, Buße oder des Schutzes praktiziert wurden (Ó DÁLAIGH, 2018a; O'KELLY, 1985). Archäologische Funde wie Münzen, Votivgaben und frühchristliche Artefakte belegen ihre lange und vielfältige Nutzung. Die topografischen Gegebenheiten, darunter natürliche Quellen oder unterirdische Wasserläufe, verstärken ihre symbolische Bedeutung und verleihen ihnen eine einzigartige Stellung in der Kulturlandschaft. Besonders hervorzuheben sind drei Holy Wells im County Kilkenny (**Abb. 12**),

die exemplarisch für ihre archäologische und kulturelle Bedeutung stehen:

- (A) *Saint Lachtain's Well, Freshford* (KK013-025---): Saint Lachtain's Well, auch bekannt als Toberlachtain, liegt in Freshford und ist dem heiligen Lachtain gewidmet, der im 7. Jahrhundert das dortige Kloster gründete. Archäologisch ist die Quelle besonders interessant, da sie nahe der Klosteranlage liegt, was auf ihre Bedeutung für die religiöse Gemeinschaft hindeutet. Der Quelle werden heilende Kräfte nachgesagt, insbesondere in der Viehsegnung, eine Praxis, die möglicherweise vorchristliche Ursprünge hat. Bis ins 19. Jahrhundert wurden hier „Patterns“ abgehalten – religiöse Feste zu Ehren des Heiligen, die spirituelle und gemeinschaftliche Aspekte verbanden (PÓD ID 137; Ó DÁLAIGH, 2018b, 516-517).
- (B) *Saint Nicholas's Well, Killamery* (KK030-008007-): Saint Nicholas's Well befindet sich in der Nähe des berühmten Killamery High Cross und des alten Friedhofs. Die Quelle,



Abb. 12 oben: Holy Wells aus dem Wikidata Projekt „Holy Wells“, via <https://w.wiki/AQ2F>; A: Freshford, St Lachtain's Well (Q121840779), 3D-Modell, Vor-Ort-Foto und Fundort als OSM way/935503837, verzeichnet auf (ORDNANCE SURVEY / NLS, 1842a); B: Killamery, St Nicholas's Well (Q126458702), 3D-Modell, Vor-Ort-Foto und Fundort als OSM node/6167966637, verzeichnet auf (ORDNANCE SURVEY / NLS, 1842c); C: Saint Augustine's Well, Abbey Meadows in Callan, 3D-Modell, Vor-Ort-Foto und Fundort als OSM way/698016313, verzeichnet auf (ORDNANCE SURVEY / NLS, 1842b). Karte: Wikidata Community, CC0; 3D-Modelle/Fotos: Anne-Karoline Distel, CC BY 4.0; OSM-Karten: OpenStreetMap Mitwirkende, ODbL; antike Karten: National Library of Scotland (NLS), CC BY 4.0.

- benannt nach dem heiligen Nikolaus, ist archäologisch bemerkenswert, da sie in eine Landschaft eingebettet ist, die reich an frühchristlichen Monumenten ist. Dies deutet auf eine lange und kontinuierliche Nutzung als heilige Stätte hin. Ihre Lage in der Nähe eines Kreuzes und eines Friedhofs legt nahe, dass sie sowohl spirituelle als auch pragmatische Funktionen erfüllte, möglicherweise im Kontext von Pilgerreisen oder Begräbnisritualen (PÓD ID 110; Ó DÁLAIGH, 2018b, 472-473).
- (C) *Saint Augustine's Well, Abbey Meadows, Callan* (KK026-010018-): Saint Augustine's Well, auch als Abbey Well bekannt, liegt in den Abbey Meadows von Callan, nahe den Ruinen eines Augustinerklosters. Archäologisch ist die rechteckig eingefasste Quelle interessant, da sie einen direkten Bezug zu den klösterlichen Strukturen und der lokalen Wasserwirtschaft hat. Das Wasser fließt in den King's River, was auf eine praktische und symbolische Bedeutung hindeutet. Lokalen Überlieferungen zufolge wurde das Wasser zur Heilung von Schwellungen und Verstauungen verwendet. Der Dichter John Locke beschrieb die Quelle 1885 in seinem Gedicht „*The Old Abbey Well*“ und betonte ihre erfrischenden Eigenschaften (PÓD ID 310; Ó DÁLAIGH, 2018b, 355).

Diese drei Beispiele repräsentieren die Vielfalt und Vielschichtigkeit der Holy Wells im County Kilkenny. Sie sind nicht nur bedeutende archäologische Monuments, sondern auch lebendige Erinnerungsstätte, welche die komplexen Verbindungen zwischen Landschaft, Glaube und Gesellschaft widerspiegeln. Ihre Erforschung erfordert interdisziplinäre Ansätze, von der archäologischen Untersuchung materieller Überreste bis zur Analyse mündlicher Überlieferungen, um ihre historische und kulturelle Bedeutung vollständig zu erfassen.

Im *Wikidata:WikiProject HolyWells*³³ werden Holy Wells als *instance of* (P31) *Holy Well Semantic Concept* (Q126443332) bezeichnet und tragen Eigenschaften wie *named after* (P138), *diocese* (P708), *coordinate location* (P625), *OpenStreetMap node ID* (P11693), *Irish Sites and Monuments Record ID* (P4057), *inventory number* (P217), *collection* (P195), *external data available at URL* (P1325) für 3D-Modelle in Sketchfab, sowie *described by source* (P1343). Bei OSM werden diese als *place_of_worship=holy_well*³⁴ getagged und tragen Eigenschaften wie *description*, *wikidata*, oder *religion*. Als Beispiele dienen die Holy Wells A-C: (A) *Saint Lachtain's Well, Freshford* (Q121840779) zu entdecken auf (ORDNANCE SURVEY / NLS, 1842a)

OSM way 935503837, PÓD ID 137 (Ó DÁLAIGH, 2018b, 516-517); (B) *Saint Nicholas's Well, Killamerry* (Q126458702) zu entdecken auf (ORDNANCE SURVEY / NLS, 1842c) OSM node 6167966637, PÓD ID 110 (Ó DÁLAIGH, 2018b, 472-473); (C) *Saint Augustine's Well, Abbey Meadows, Callan* (Q122189562) zu entdecken auf (ORDNANCE SURVEY / NLS, 1842b) OSM way 698016313, PÓD ID 310 (Ó DÁLAIGH, 2018b, 355).

Die Modellierung der Holy Wells in OpenStreetMap und Wikidata spielt eine zentrale Rolle bei der Einbindung von Citizen Scientists und heimatkundlich Interessierten in die Erforschung dieser historischen und spirituellen Stätten. Durch die Bereitstellung georeferenzierter Daten und detaillierter Beschreibungen auf offenen Plattformen können Freiwillige aktiv zur Dokumentation und Validierung dieser bedeutenden Kulturdenkmäler beitragen. Dies fördert nicht nur die partizipative Wissenschaft, sondern ermöglicht es auch, durch die Kombination von lokalem Wissen und digitalen Werkzeugen ein umfassenderes Bild der Holy Wells zu erhalten. Die Verknüpfung mit Wikidata bietet darüber hinaus die Möglichkeit, historische, archäologische und geografische Informationen miteinander zu vernetzen, wodurch ein reichhaltiger Wissensschatz entsteht, der Forschenden und der breiten Öffentlichkeit gleichermaßen zugänglich ist.

Linked Reindeers – Rock Art in Alta

Die Felsritzungen von Alta in Nordnorwegen gehören zu den bedeutendsten prähistorischen Fundstätten Europas und wurden 1985 in die Liste des UNESCO-Weltkulturerbes aufgenommen. Die über einen Zeitraum von etwa 7000 bis 2000 Jahren vor unserer Zeit entstandenen Petroglyphen und Felsmalereien liefern wertvolle Einblicke in das Leben und die Rituale der damaligen Jäger- und Sammlergesellschaften. Sie verteilen sich auf mehrere Fundorte rund um den Altafjord, darunter Hjemmeluft, Kåfjord, Amtmannsnæs und Storsteinen. Hjemmeluft ist dabei die größte und am besten zugängliche Stätte mit rund 6000 registrierten Figuren, die ein breites Spektrum an Motiven abdecken (Abb. 13). Die Darstellungen umfassen häufig Tiere wie Rentiere, Elche, Bären, Fische und Vögel, die für die damaligen Gesellschaften von zentraler Bedeutung waren. Menschen erscheinen in Szenen des Fischfangs, der Jagd, in rituellen Handlungen und bei alltäglichen Aktivitäten. Boote, die in ihrer Größe und Detailtreue variieren, weisen auf die wichtige Rolle der Fischerei und möglicherweise auf Handelskontakte hin. Ergänzt wird diese Viel-



Abb. 13 links, oben: Orthofoto eines Rock-Art Felsens in Hjemmeluft, Bergbukten 1; links, unten: Orthofoto eines Rock-Art Felsens in Hjemmeluft, Ole Pedersen 11A; rechts: Wikidata-Karte von Entitäten, via <https://w.wiki/BSaj>; Orthofotos: Karin Tansem, VAM World Heritage Rock Art Centre - Alta Museum CC BY-NC-SA 4.0; Karte: Wikidata Community, CC0.

falt durch geometrische Muster und Symbole, deren genaue Bedeutung bislang unklar ist. Die Entstehung der Felsritzungen steht in engem Zusammenhang mit der postglazialen Landhebung. Nach dem Ende der letzten Eiszeit vor etwa 12.000 Jahren begann sich das durch die Eismassen niedergedrückte Land allmählich zu heben. Dieser Prozess führte dazu, dass ehemals küstennahe Felsflächen heute höher über dem Meeresspiegel liegen. So befinden sich die ältesten Gravuren in Alta in höheren Lagen, während jüngere Darstellungen in niedrigeren Höhen zu finden sind (GJERDE, 2019; 2024; HELSKOG, 2014; TANSEM & JOHANSEN, 2008; TANSEM & STOREMYR, 2021). Auf Basis der heutigen Höhenlage der Felsritzungen und der bekannten Raten der Landhebung konnte die Entstehungszeit der Petroglyphen in fünf Phasen bzw. sechs Perioden³⁵ unterteilt werden (GJERDE, 2010, 246 ff.; HELSKOG, 2012a; 2012b), die zwischen etwa 5200 und 200 v. Chr. datieren. Hjemmeluft und insbesondere die Standorte *Bergbukten 1* (BB1) und *Ole Pedersen 11A* (OP11A) zeichnen sich durch ihre thematische Vielfalt und die Detailtreue der Gravuren aus. Die Gravuren in den Bereichen *Bergbukten 1* und *Ole Pedersen 11A* lassen sich typischerweise den Phasen 2 und 3 zuordnen, was bedeutet, dass sie zwischen 4200 und 2000 v. Chr. entstanden. In *Bergbukten 1* finden sich besonders viele Darstellungen von Rentieren, Menschen und Booten. Rentiere erscheinen oft in Gruppen oder in Bewegung, was vermutlich die große Bedeutung der Rentierjagd für die prähistorischen Gesellschaften unterstreicht.

Boote variieren in ihrer Größe und zeigen teils mehrere Personen an Bord, was auf gemeinschaftliche Fischerei- oder Jagdexpeditionen hindeutet. Menschliche Figuren in verschiedenen Posen könnten sowohl rituelle als auch alltägliche Handlungen dokumentieren und verdeutlichen die enge Verbindung zur natürlichen Umwelt. *Ole Pedersen 11A* bietet ebenfalls eine beeindruckende Sammlung von Petroglyphen, die durch Darstellungen von Rentierherden, großen Booten mit mehreren Insassen und Menschengruppen geprägt ist. Rentierherden symbolisieren möglicherweise die saisonale Migration dieser Tiere, die für die Rentierjäger von großer Bedeutung war. Besonders auffällig sind die detaillierten Gravuren von Booten, bei denen Menschen in Formation dargestellt werden – ein Hinweis auf organisierte Unternehmungen wie Jagden oder Handelsfahrten. Die Darstellungen von Menschengruppen könnten rituelle oder soziale Versammlungen zeigen und die kulturellen Praktiken dieser Gesellschaften illustrieren. Die Kombination von Rentieren, Booten und Menschen verweist auf die zentrale Rolle der Natur und der Mobilität für die damaligen Gesellschaften. Die Gravuren spiegeln nicht nur technische Errungenschaften wie den Bootsbau und Jagdstrategien wider, sondern könnten auch symbolische oder rituelle Bedeutungen haben, etwa zur Beschwörung erfolgreicher Jagden oder zur Reflexion der Beziehung zwischen Menschen und Natur. Um diese einzigartigen Kulturdenkmäler zu bewahren, wurden moderne Digitalisierungsmethoden wie

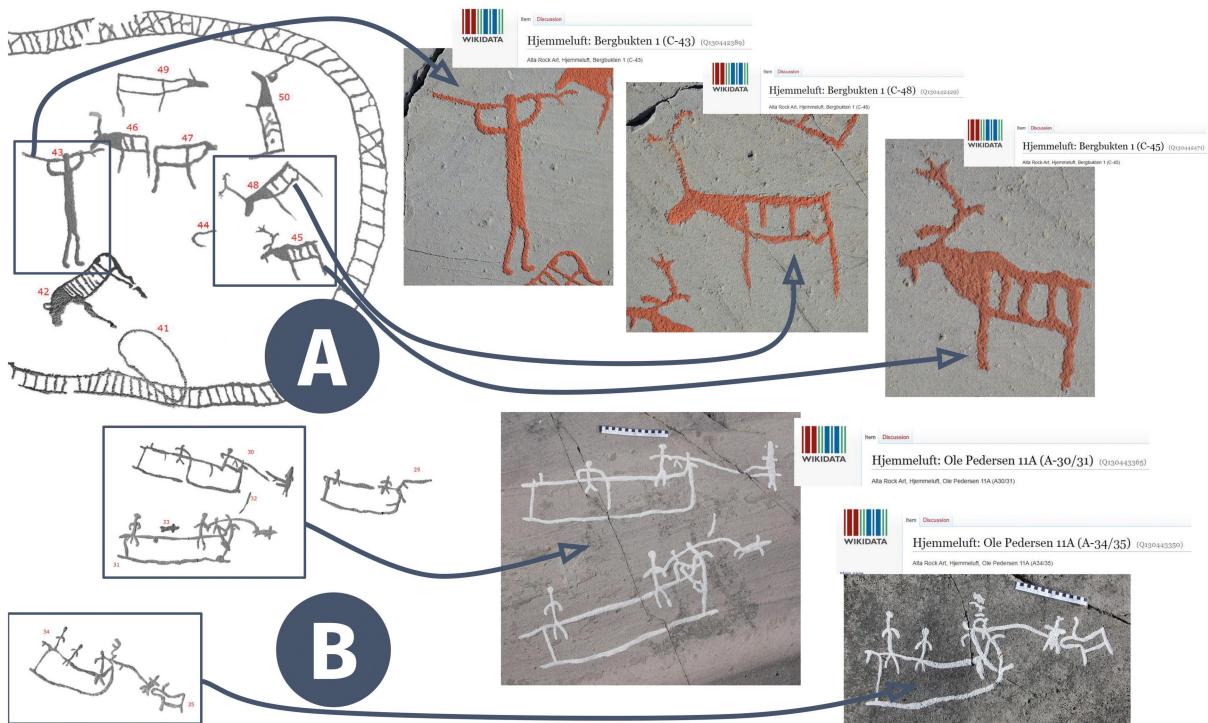


Abb. 14 A: Ausschnitt aus Hjemmeluft, Bergbukten 1, Abschnitt C mit #C-45 (Rentier; Q130442471), #C-48 (Rentier; Q130442429) und #C-43 (Mensch; Q130442389); B: Ausschnitt aus Hjemmeluft, Ole Pedersen 11A mit #A-30/31 (Boot; Q130443365) und #A-34/35 (Boot; Q130443350). Zeichnungen: Karin Tansem, VAM World Heritage Rock Art Centre - Alta Museum CC BY-NC-SA 4.0; Wikidata-Screenshots: Wikidata Community, CC0; Fotos: Heidi Johansen und Karin Tansem, VAM, CC BY-NC-SA 4.0.

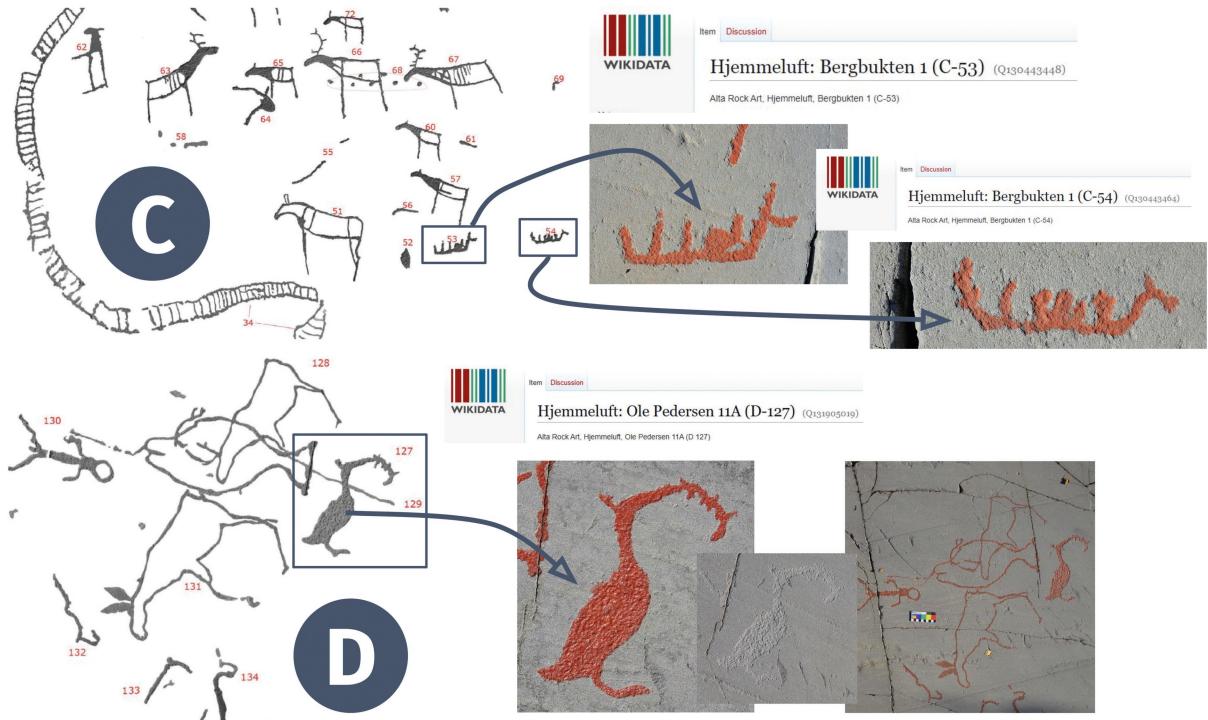


Abb. 15 C: Ausschnitt aus Hjemmeluft, Bergbukten 1 mit #C-53 (Boot; Q130443448) und #C-54 (Boot; Q130443464); D: Ausschnitt aus Hjemmeluft, Ole Pedersen 11A, Abschnitt D mit #D-127 (Kormoran mit Fisch; Q131905019). Zeichnungen: Karin Tansem, VAM World Heritage Rock Art Centre - Alta Museum CC BY-NC-SA 4.0; Wikidata-Screenshots: Wikidata Community, CC0; Fotos: Heidi Johansen, VAM, CC BY-NC-SA 4.0.

Orthofotografie und SfM eingesetzt. Diese erlauben eine detaillierte Analyse und virtuelle Rekonstruktion der Gravuren, ohne die empfindlichen Felsoberflächen zu gefährden. Durch die Digitalisierung werden die Petroglyphen nicht nur für die wissenschaftliche Forschung, sondern auch für ein breiteres Publikum zugänglich gemacht und langfristig gesichert. Das *Wikidata:WikiProject LinkedReindeersAlta*³⁶ modelliert einzelne Motive aus Alta in Wikidata (**Abb. 14-15**). Dazu werden vor allem *part of* (P361), *depicts* (P180) und *non-free artwork image URL* (P6500) erfasst. Beispiele hierfür sind: (A) Hjemmeluft, Bergbukten 1, C-48, C-45 (Q130442429, Q130442471) Rentiere und C-43 (Q130442389) ein Mensch auf Sandstein aus MASL 23-25 (Gjerde Phase 1, ca. 5200-4200 v. Chr.); (B) Hjemmeluft, Ole Pedersen 11A, A-30/31, A-34/35 (Q130443365, Q130443350) Boote auf Sandstein aus MASL 17-19 (Gjerde Phase 2, ca. 4200-3000 v. Chr.); (C) Hjemmeluft, Bergbukten 1, C-53, C-54 (Q130443448, Q130443365) Boote auf Sandstein aus MASL 23-25 (Gjerde Phase 1, ca. 5200-4200 v. Chr.); (D) Hjemmeluft, Ole Pedersen 11A, D-127 (Q131905019) Kormoran mit Fisch auf Sandstein aus MASL 17-19 (Gjerde Phase 2, ca. 4200-3000 v. Chr.). Insbesondere Beispiel C mit der Darstellung eines Schiffs kann z. B. mit der NAVISone Schiffssdatenbank verknüpft werden (ID: 400001³⁷) und ist somit im Archaeological Knowledge Graph eingebunden. Für dargestellte Tiere wie in Beispiel A (Rentier), B (Fisch) und C (Kormoran mit Fisch) kann Wikidata als Sekundär-Datenbank und Hub genutzt werden, um weitere biologische Informationen zu erhalten. So zeigt sich die Interdisziplinarität von Wikidata. Ein Beispiel dafür zeigt sich in der Wikidata property *GBIF taxon ID* (P846), der eine Spezies zum Taxon Identifikator der Global Biodiversity Information Facility (GBIF) in der GBIF Backbone Taxonomy verknüpft, z.B. Rentier (*Rangifer tarandus* subsp. *tarandus*, GBIF:7194050³⁸) und Kormoran (*Phalacrocorax carbo*, GBIF:2481890³⁹). Hier zeigt sich direkt der interdisziplinäre Ansatz der Archäologie, der sich auch in der NFDI widerspiegelt und hier speziell im Konsortium *NFDI4Biodiversity*, z.B. zum *Atlas der Fische*.⁴⁰ Auf diesen Felsritzungen sind weitere Spezies wie Bären (BB1, E-139 und D-194), Elche (BB1, A18 und C-42) und Hunde (BB1, B-14) abgebildet, was zudem den Umgang des Menschen in prähistorischen Zeiten mit diesen Tieren in dieser geografischen Region verdeutlicht.

Diskussion, Zusammenfassung & Ausblick

Der vorliegende Aufsatz zeigt innovative Ansätze zur FAIRifizierung und Vernetzung archäologischer sowie geowissenschaftlicher Daten mithilfe von LOD und Open-Source-Tools wie dem SPARQL Unicorn Research Toolkit. Praxisorientierte Beispiele, darunter die Modellierung unsicherer Geodaten mit der *fuzzy-sl Ontology* und die semantische Verknüpfung historischer Ressourcen in Projekten wie *Linked Open Ogham*, *Campanian Ignimbrite Findspots* und *Holy Wells in Ireland* demonstrieren die nachhaltige Nutzung und Interoperabilität von Forschungsdaten in interdisziplinären Kontexten.

Ein zentraler Aspekt dieser Projekte ist die Nachhaltigkeit, die durch die strukturierte Modellierung und standardisierte Metadaten erreicht wird. Im *Campanian Ignimbrite Findspots* Projekt zeigt sich dies besonders durch die Verknüpfung archäologischer Fundstellen mit geowissenschaftlichen Daten über eine Wikibase-Instanz, wodurch eine langzeitverfügbare, reproduzierbare und erweiterbare Datengrundlage geschaffen wird. Die Nutzung von Wikidata und OpenStreetMap als offene Plattformen fördert die Wiederverwendbarkeit der Daten über verschiedene Forschungsbereiche hinweg und ermöglicht es, neue Erkenntnisse zu generieren, ohne bestehende Datenbanken zu duplizieren. Auch die Integration von Citizen Science spielt eine entscheidende Rolle in der FAIRifizierung wissenschaftlicher Daten. Das Projekt *Holy Wells in Ireland* ist ein Beispiel dafür, wie Citizen Scientists durch die Erfassung von Geodaten in OpenStreetMap und die Verknüpfung mit Wikidata aktiv zur Dokumentation und Analyse historischer Quellen beitragen. Diese kollaborativen Ansätze ermöglichen es, Menschen vor Ort einzubinden, wodurch neue Datenquellen erschlossen und bestehende Datensätze mit lokalen Kontextinformationen angereichert werden. Die Citizen Science-Komponente trägt somit nicht nur zur Datenmenge bei, sondern verbessert auch die Qualität und Vielfalt der gesammelten Informationen durch lokales Wissen. Ein weiteres zentrales Thema ist die Rolle von LOD in interdisziplinären Forschungsprojekten. Das *Linked Open Ogham* Projekt zeigt, wie semantische Verknüpfungen zwischen epigrafischen, archäologischen und geografischen Daten die interdisziplinäre Forschung unterstützen. Durch die Integration von Daten aus unterschiedlichen Quellen, wie z. B. historischen Karten (Ordnance Survey), modernen Geodaten (OSM) und 3D-Dokumentationen (Sketchfab),

wird ein umfassender Wissensgraph aufgebaut. Dieser erlaubt es, z. B. Zusammenhänge zwischen Siedlungsmustern, sprachlichen Entwicklungen und kulturellen Austauschprozessen sichtbar zu machen. Die Anwendung des SPARQL Unicorn Research Toolkits hat sich hier als wertvolles Werkzeug erwiesen, um räumliche Analysen in Kombination mit semantischen Abfragen durchzuführen und die FAIR-Prinzipien in der geowissenschaftlichen Forschung zu operationalisieren. Ein besonders wichtiger Aspekt ist die Interoperabilität und Datenintegration, die es ermöglicht, heterogene Datensätze aus verschiedenen Disziplinen zu verbinden und somit komplexe wissenschaftliche Fragestellungen zu beantworten. Im Projekt *Linked Reindeers – Rock Art in Alta* wird dies durch die Verknüpfung archäologischer Daten mit biologischen Informationen über Rentier- und Fischpopulationen erreicht. Durch den Einsatz standardisierter Datenformate wie RDF und die Nutzung von Plattformen wie Wikidata können Forschende der Geistes- und Kulturwissenschaften, Lebenswissenschaften und Geowissenschaften gemeinsam an denselben Datensätzen arbeiten, um neue Erkenntnisse über die Mensch-Tier-Interaktion in prähistorischer Zeit zu gewinnen. Die Sicherung der Datenqualität und Validierung sind weitere entscheidende Faktoren, um die wissenschaftliche Verlässlichkeit der Daten zu gewährleisten. Das *fuzzy-sl* Projekt zeigt, wie Unsicherheiten in der Georeferenzierung durch die explizite Modellierung in Ontologien erfasst werden können, um Transparenz zu schaffen und die Qualität der Daten zu erhöhen. Diese Methoden tragen dazu bei, Citizen-Science-Daten in wissenschaftliche Workflows zu integrieren, ohne deren Verlässlichkeit zu gefährden. Die Entwicklung automatisierter Validierungsmethoden, wie sie bereits in der *fuzzy-sl* *Wikibase* Anwendung finden, könnte zur langfristigen Sicherstellung der Datenqualität beitragen. Ein weiteres zentrales Thema ist die Skalierbarkeit und Automatisierung von Forschungsprozessen, die in LOD-Projekten eine essenzielle Rolle spielt. Mit wachsender Datenmenge ist es wichtig, effiziente Mechanismen zur Verarbeitung und Analyse bereitzustellen. Das *SPARQL Unicorn Research Toolkit* zeigt, wie automatisierte Abfragen in Triplesstores genutzt werden, um große Datenmengen in Echtzeit zu verarbeiten und zu analysieren. Die Implementierung automatisierter Workflows, wie beispielsweise GitHub Actions zur regelmäßigen Generierung und Aktualisierung von RDF-Dokumentationen im *Campanian Ignimbrite* Projekt, ermöglicht eine nachhaltige und effiziente

Verwaltung der Forschungsdaten. Schließlich tragen die Transparenz und Reproduzierbarkeit wissenschaftlicher Erkenntnisse erheblich zur Qualität und Vertrauenswürdigkeit offener Forschungsdaten bei. Projekte wie *Linked Open Ogham*, die auf die Integration von 3D-Daten und semantischen Annotationen setzen, zeigen, wie die Nutzung standardisierter Ontologien und offener Plattformen die Nachvollziehbarkeit und Verfügbarkeit von Forschungsprozessen verbessert. Durch die Speicherung von Provenienzdaten in PROV-O-konformen Ontologien wird sichergestellt, dass jeder Verarbeitungsschritt dokumentiert ist und von anderen Forschenden repliziert werden kann.

Zukünftige Arbeiten werden sich auf die Erweiterung und Automatisierung von FAIRifizierungstools konzentrieren, um sie für eine breitere Nutzerbasis zugänglich zu machen. Dies beinhaltet den Ausbau automatisierter Validierungsmethoden, wie sie bereits in der Modellierung von Unsicherheiten im *fuzzy-sl* *Wikibase* Projekt Anwendung finden. Die Kombination von semantischer Datenmodellierung mit automatisierten Workflows (z. B. GitHub Actions für RDF-Dokumentationen) könnte die Effizienz der FAIRifizierung weiter steigern und somit zur nachhaltigen Nutzung offener Forschungsdaten beitragen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die in diesem Beitrag vorgestellten Beispiele verdeutlichen, wie Open-Source-Tools und Community-Plattformen eine nachhaltige und interdisziplinäre Nutzung archäologischer und geowissenschaftlicher Daten ermöglichen. Die enge Verzahnung von LOD mit FAIR-Prinzipien und Citizen Science eröffnet neue Potenziale für kollaborative und transparente Forschung, die über geografische und disziplinäre Grenzen hinweg wirkt.

A n m e r k u n g e n

¹ The Linked Open Data Cloud (2025). The Linked Open Data Cloud: <https://lod-cloud.net> [25.1.2025].

² Research Squirrel Engineers (2025). The Research squirrel Engineers Network: <https://squirrel.link> [25.1.2025].

³ GitHub sparqlunicornGoesGIS (2024). SPARQ Unicorn QGIS Plugin: <https://github.com/sparqlunicorn/sparqlunicornGoesGIS> [25.1.2025]; QGIS Plugin SPARQL Unicorn (2024). SPARQ Unicorn QGIS Plugin: <https://plugins.qgis.org/plugins/sparqlunicorn/> [25.1.2025].

⁴ GitHub sparqlunicornGoesGIS-ontdoc (2024). SPARQL Unicorn Ontology Documentation <https://github.com/sparqlunicorn/sparqlunicornGoesGIS-ontdoc> [25.1.2025].

- ⁵ GitHub campanian-ignimbrite-geo (2024). Toplitsa Cave (Bulgaria): https://research-squirrel-engineers.github.io/campanian-ignimbrite-geo/cisite_44/index.html [25.1.2025].
- ⁶ Squirrel Papers (2025). Squirrel Papers Overview: <https://squirrelpapers.github.io/overview/> [25.1.2025].
- ⁷ ogham.link (2024). ogham.link – A Linked Open Data Hub for Ogham Research: <https://ogham.link/> [25.1.2025]; Wikidata (2024). Wikidata:WikiProject OghamStones: https://www.wikidata.org/wiki/Wikidata:WikiProject_OghamStones [25.1.2025].
- ⁸ Wikidata (2024). Wikidata:WikiProject HolyWells: https://www.wikidata.org/wiki/Wikidata:WikiProject_HolyWells [25.1.2025]; Youtube (2024). Eine Erhebung von Heiligen Quellen als Linked Open Data (LOD): <https://youtu.be/VplrkJcq9EA> [25.1.2025]; Youtube (2021). Mapping Holy Wells in Ireland: <https://youtu.be/7smZcUeNcXo> [25.1.2025].
- ⁹ Wikidata (2024). Wikidata:WikiProject LinkedReindeersAlta: https://www.wikidata.org/wiki/Wikidata:WikiProject_LinkedReindeersAlta [25.1.2025].
- ¹⁰ Wikidata Query (2025). Holy Wells SPARQL Query: <https://w.wiki/BD2C> [25.1.2025].
- ¹¹ FactGrid Query (2025). WKT Literals Query: <https://tinyurl.com/2843nwew> [25.1.2025].
- ¹² NFDI4Objects KG Query (2025). Ogham Stones Query: <https://t1p.de/v0lg7> [25.1.2025].
- ¹³ NFDI4Objects KG Query (2025). Samian Research Query: <https://t1p.de/mdvhn> [25.1.2025].
- ¹⁴ Solid Pod (2024). Campanian Ignimbrite Solid Pod TTL File: https://fuzzy-sl.solidweb.org/campanian-ignimbrite-geo/ci_full.ttl [25.1.2025].
- ¹⁵ GitHub workshop-n4ocm24-mainz (2024). CI Findspots CSV: https://github.com/Research-Squirrel-Engineers/workshop-n4ocm24-mainz/blob/main/src/cifindspots_part_full.csv [25.1.2025].
- ¹⁶ GitHub workshop-n4ocm24-mainz (2024). CI Findspots TTL: https://github.com/Research-Squirrel-Engineers/workshop-n4ocm24-mainz/blob/main/transform/ci-findspots_part_full.ttl [25.1.2025].
- ¹⁷ GitHub campanian-ignimbrite-geo (2024). CI GitHub Action: <https://github.com/Research-Squirrel-Engineers/campanian-ignimbrite-geo/blob/main/.github/workflows/main.yml> [25.1.2025]; GitHub campanian-ignimbrite-geo (2024). CI Site Collection: https://research-squirrel-engineers.github.io/campanian-ignimbrite-geo/Site_collection/index.html [25.1.2025].
- ¹⁸ Definition nach Karsten Tolle, Sebastian Gampe, Florian Thiery und Allard Mees aus dem NFDI4Objects TRAIL 2.2.
- ¹⁹ Prefix fsl: <<http://fuzzy-sl.squirrel.link/ontology/>>.
- ²⁰ Prefix fsld: <<http://fuzzy-sl.squirrel.link/data/>>.
- ²¹ Fuzzy Spatial Locations (2025). fuzzy-sl: The Fuzzy Spatial Locations Wikibase: <https://fuzzy-sl.wikibase.cloud> [25.1.2025].
- ²² Prefix fslwd: <<https://fuzzy-sl.wikibase.cloud/entity/>>.
- ²³ GitHub squirrelpapers-volumes (2025). Squirrel Papers Volumes & Issues: <https://github.com/squirrelpapers/squirrelpapers-volumes> [25.1.2025].
- ²⁴ Zenodo (2025). Squirrel Papers Zenodo Community: <https://zenodo.org/communities/squirrelpapers/> [25.1.2025].
- ²⁵ Squirrel Papers (2025): Squirrel Papers Volume 6 (2024): <https://squirrelpapers.github.io/squirrelpapers-volumes/vol6/> [25.1.2025].
- ²⁶ Z.B. Sketchfab (2024). Cork: Ogham stone CIIC 81/ UCC 4: <https://skfb.ly/oVOIH> [25.1.2025] oder SquirrelBase (2025). Model: CO074-148----: <https://3d.squirrelbase.net/?model=CO074-148----> [25.1.2025].
- ²⁷ Z.B. Semantic Kompakt (2024). Ogham Stone UCC Stone Corridor IV: <https://semantic-kompaakt.de/entity/670e54210da6ec51ee08e5fb> [25.1.2025] und Semantic Kompakt Wikibase (2024): Ogham Stone UCC Stone Corridor IV (Q1247): <https://wikibase.semantic-kompaakt.de/entity/Q1247> [25.1.2025].
- ²⁸ Z.B. Semantic Kompakt Query (2025). Federated Ogham Query: <https://t1p.de/6pmdd> [25.1.2025].
- ²⁹ Z.B. dblp computer science bibliography (2025). Federated Ogham Query: <https://sparql dblp.org/YKIrP3> [25.1.2025].
- ³⁰ Ogham in 3D Project (2023). Overview: <https://ogham.celt.dias.ie/menu.php?lang=en&menuitem=81> [25.1.2025].
- ³¹ OG(H)AM (2025). AHRC/IRC Project OG(H)AM: Harnessing digital technologies to transform understanding of ogham writing, from the 4th century to the 21st: <https://ogham.glasgow.ac.uk/> [25.1.2025].
- ³² GitHub campanian-ignimbrite-geo (2024): CI Site Collection: https://research-squirrel-engineers.github.io/campanian-ignimbrite-geo/Site_collection/index.html [25.1.2025].
- ³³ Wikidata (2024). Wikidata:WikiProject HolyWells: https://www.wikidata.org/wiki/Wikidata:WikiProject_HolyWells [25.1.2025].
- ³⁴ Open Street Map (2023). Tag:place_of_worship=holy_well: https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Tag:place_of_worship%3Dholy_well [25.1.2025].
- ³⁵ Alta Musuem (2025): Dating: <https://www.altamusuem.no/en/the-rock-art-of-alta/dating> [25.1.2025].
- ³⁶ Wikidata (2024). Wikidata:WikiProject LinkedReindeersAlta: https://www.wikidata.org/wiki/Wikidata:WikiProject_LinkedReindeersAlta [25.1.2025].
- ³⁷ NAVISone (2024): Hjemmeluft: Bergbukten 1 (ID: 400001): <https://www2.leiza.de/navis/object.html?id=400001> [25.1.2025].

- ³⁸ GBIF (2025). Rangifer tarandus subsp. tarandus: <https://www.gbif.org/species/7194050> [25.1.2025].
- ³⁹ GBIT (2025). Phalacrocorax carbo: <https://www.gbit.org/species/2481890> [25.1.2025].
- ⁴⁰ NFDI4Biodiversity (2025): Atlas der Fische: <https://www.nfdi4biodiversity.org/de/was-wir-tun/use-case-gfi/> [25.1.2025].

L i t e r a t u r

- Barker, M., Chue Hong, N. P., Katz, D. S., Lamprecht, A.-L., Martinez-Ortiz, C., Psomopoulos, F., ... Honeyman, T. (2022). Introducing the FAIR Principles for research software. *Scientific Data*, 9(1), 622. <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01710-x>.
- Berners-Lee, T. (2006). *Linked Data – Design Issues*. <https://www.w3.org/DesignIssues/LinkedData.html> [24.1.2025].
- Fedele, F. G., Giaccio, B., Isaia, R. & Orsi, G. (2003). The Campanian Ignimbrite Eruption, Heinrich Event 4, and palaeolithic change in Europe: A high-resolution investigation. In A. Robock & C. Oppenheimer (eds), *Geophysical Monograph Series*, 139 (pp. 301-325). Washington, D. C.: American Geophysical Union. <https://doi.org/10.1029/139GM20>.
- Fisher, R. V. & Schmincke, H.-U. (1984). *Pyroclastic rocks*. Berlin Heidelberg: Springer.
- Fitzsimmons, K. E. & Hambach, U. (2014). Loess accumulation during the last glacial maximum: Evidence from Urluia, southeastern Romania. *Quaternary International*, 334-335, 74-85. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2013.08.005>.
- Fitzsimmons, K. E., Hambach, U., Veres, D. & Iovita, R. (2013). The Campanian Ignimbrite Eruption: New Data on Volcanic Ash Dispersal and Its Potential Impact on Human Evolution. *PLoS ONE*, 8(6), e65839. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0065839>.
- Giaccio, B., Isaia, R., Fedele, F. G., Di Canzio, E., Hoffecker, J., Ronchitelli, A., ... Popov, V. V. (2008). The Campanian Ignimbrite and Codola tephra layers: Two temporal/stratigraphic markers for the Early Upper Palaeolithic in southern Italy and eastern Europe. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 177(1), 208-226. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2007.10.007>.
- Gjerde, J. M. (2010). *Rock art and landscapes: Studies of Stone Age rock art from northern Fennoscandia* (Doctoral thesis, Universitetet i Tromsø). Universitetet i Tromsø. <https://munin.uit.no/handle/10037/2741> [24.1.2025].
- Gjerde, J. M. (2019). *Alta (Norway), Rock Art of. In Encyclopedia of Global Archaeology* (pp. 1-10). Cham: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-51726-1_2815-1.
- Gjerde, J. M. (2024). FREQUENCY, PHASES AND CHRONOLOGY OF ROCK ART: SPATIOTEMPORAL STUDIES OF THE ALTA ROCK CARVINGS, NORTHERNMOST EUROPE. *Oxford Journal of Archaeology*, 43(2), 108-134. <https://doi.org/10.1111/ojoa.12293>.
- Hasnain, A. & Rebholz-Schuhmann, D. (2018). Assessing FAIR Data Principles Against the 5-Star Open Data Principles. In A. Gangemi, A. L. Gentile, A. G. Nuzzolese, S. Rudolph, M. Maleshkova, H. Paulheim, ... M. Alam (eds), *The Semantic Web: ESWC 2018 Satellite Events* (pp. 469-477). Cham: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-98192-5_60.
- Healy, J. (1884). The Holy Wells of Ireland. *The Irish Monthly*, 12(128), 85-93.
- Helskog, K. (2012a). Ancient Depictions of Reindeer Enclosures and their Environment. *Fennoscandia Archaeologica*, 29, 29-54.
- Helskog, K. (2012b). Bears and Meanings among Hunter-fisher-gatherers in Northern Fennoscandia 9000-2500 BC. *Cambridge Archaeological Journal*, 22(2), 209-236. <https://doi.org/10.1017/S0959774312000248>.
- Helskog, K. (2014). *Communicating with the World of Beings: The World Heritage rock art sites in Alta, Arctic Norway*. Oxford: Oxbow Books.
- Homburg, T. & Thiery, F. (2024a). SPARQL Unicorn Ontology Documentation. *Squirrel Papers*, 6(2), #2. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10780476>.
- Homburg, T. & Thiery, F. (2024b). The SPARQL Unicorn Ontology documentation: Exposing RDF geodata using static GeoAPIs. *Tagungsband FOSSGIS-Konferenz 2024*, 2024, 82-90. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10570985>.
- Hyvönen, E., Tuominen, J., Alonen, M., & Mäkelä, E. (2014). Linked Data Finland: A 7-star Model and Platform for Publishing and Re-using Linked Datasets. In V. Presutti, E. Blomqvist, R. Troncy, H. Sack, I. Papadakis, & A. Tordai (eds.), *The Semantic Web: ESWC 2014 Satellite Events* (S. 226-230). Cham: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-11955-7_24.
- Kearney, R. J., Schwab, M. J., Redant, D., Neugebauer, I., Appelt, O., Blanchet, C., ... Brauer, A. (2024). Identification of the Campanian Ignimbrite in the Dead Sea and consequent time-transgressive hydroclimatic shifts in the Eastern Mediterranean. *Scientific Reports*, 14(1), 12114. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-59639-7>.

- Kraker, P., Leony, D., Reinhardt, W., Gü, N. A. & Beham, N. (2011). The case for an open science in technology enhanced learning. *International Journal of Technology Enhanced Learning*, 3(6), 643. <https://doi.org/10.1504/IJTEL.2011.045454>.
- Macalister, R. A. S. (1945). *Corpus inscriptionum insularum Celticarum*. Dublin: Stationery Office.
- MacManus, D. (1997). *A Guide to Ogam*. Maynooth: An Sagart.
- Morley, M. W. & Woodward, J. C. (2011). The Campanian Ignimbrite (Y5) tephra at Crvena Stijena Rockshelter, Montenegro. *Quaternary Research*, 75(3), 683-696. <https://doi.org/10.1016/j.yqres.2011.02.005>.
- Narcisi, B. (1996). Tephrochronology of a late quaternary lacustrine record from the monticchio maar (vulture volcano, southern Italy). *Quaternary Science Reviews*, 15(2-3), 155-165. [https://doi.org/10.1016/0277-3791\(95\)00045-3](https://doi.org/10.1016/0277-3791(95)00045-3).
- Ó Dálaigh, P. (2018a). *The Holy Wells of County Kilkenny in terms of documentary coverage, location, ritual practice and onomastic concept – Volume 1 and 2* (Doctoral thesis, Mary Immaculate College, University of Limerick). Mary Immaculate College, University of Limerick. <https://dspace.mic.ul.ie/handle/10395/2584> [24.1.2025].
- Ó Dálaigh, P. (2018b). *The Holy Wells of County Kilkenny – Volume 2* (Doctoral thesis, Mary Immaculate College, University of Limerick). Mary Immaculate College, University of Limerick. <https://dspace.mic.ul.ie/handle/10395/2584> [24.1.2025].
- Ó Riordáin, S. P. & Ryan, J. (1941). The Excavation of a Large Earthen Ring-Fort at Garranes, Co. Cork. *Proceedings of the Royal Irish Academy. Section C: Archaeology, Celtic Studies, History, Linguistics, Literature*, 47, 77-150.
- O'Kelly, O. (1985). *The place-names of the County of Kilkenny* (New ed.). Kilkenny: Kilkenny Archaeological Society.
- Ordnance Survey / NLS. (1842a). C. Kilkenny – Sheet 13. *Ordnance Survey Maps – Six-Inch Ireland, 1829-1969*, C. Kilkenny (Sheet 13). <https://maps.nls.uk/view/246837099> [24.1.2025].
- Ordnance Survey / NLS. (1842b). C. Kilkenny – Sheet 26. *Ordnance Survey Maps – Six-Inch Ireland, 1829-1969*, C. Kilkenny (Sheet 26). <https://maps.nls.uk/view/246837138> [24.1.2025].
- Ordnance Survey / NLS. (1842c). C. Kilkenny – Sheet 30. *Ordnance Survey Maps – Six-Inch Ireland, 1829-1969*, C. Kilkenny (Sheet 30). <https://maps.nls.uk/view/246837150> [24.1.2025].
- Ordnance Survey / NLS. (1895a). Kerry – Sheet 51. *Ordnance Survey Maps – Six-Inch Ireland, 1829-1969*, C. Kerry (Sheet 51). <https://maps.nls.uk/view/247668982> [24.1.2025].
- Ordnance Survey / NLS. (1895b). Kerry – Sheet 52. *Ordnance Survey Maps – Six-Inch Ireland, 1829-1969*, C. Kerry (Sheet 52). <https://maps.nls.uk/view/247668985> [24.1.2025].
- Ordnance Survey / NLS. (1903). Cork – Sheet 84. *Ordnance Survey Maps – Six-Inch Ireland, 1829-1969*, C. Cork (Sheet 84). <https://maps.nls.uk/view/247667076> [24.1.2025].
- Paterne, M., Kallel, N., Labeyrie, L., Vautravers, M., Duplessy, J., Rossignol-Strick, M., ... Fontugne, M. (1999). Hydrological relationship between the North Atlantic Ocean and the Mediterranean Sea during the past 15-75 kyr. *Paleoceanography*, 14(5), 626-638. <https://doi.org/10.1029/1998PA900022>.
- Pötter, S., Veres, D., Baykal, Y., Nett, J. J., Schulte, P., Hambach, U. & Lehmkühl, F. (2021). Disentangling Sedimentary Pathways for the Pleniglacial Lower Danube Loess Based on Geochemical Signatures. *Frontiers in Earth Science*, 9, 600010. <https://doi.org/10.3389/feart.2021.600010>.
- Ray, C. (2014). *The Origins of Ireland's Holy Wells*. Oxford: Archaeopress.
- Rovella, N., Arcudi, A., Crupi, V., La Russa, M. F., Majolino, D., Osanna, M., ... Venuti, V. (2018). Tituli Picti in the archaeological site of Pompeii: Diagnostic analysis and conservation strategies. *The European Physical Journal Plus*, 133(12), 539. <https://doi.org/10.1140/epjp/i2018-12369-2>.
- Sambra, A. V., Mansour, E., Hawke, S., Zereba, M., Greco, N., Ghanem, A., ... Berners-Lee, T. (2016). *Solid: A Platform for Decentralized Social Applications Based on Linked Data*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:49564404> [24.1.2025].
- Schenk, F., Hambach, U., Britzius, S., Veres, D. & Sirocko, F. (2024a). A Cryptotephra Layer in Sediments of an Infilled Maar Lake from the Eifel (Germany): First Evidence of Campanian Ignimbrite Ash Airfall in Central Europe. *Quaternary*, 7(2), 17. <https://doi.org/10.3390/quat7020017>.
- Schmidt, S. C. & Thiery, F. (2022). SPARQ Ogham Stones: New Options for Analyzing Analog Editions by Digitization in Wikidata. *CEUR Workshop Proceedings*, 3110(Graph Technologies in the Humanities 2020), 211-244. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6380914>.
- Schmidt, S. C., Thiery, F. & Trognitz, M. (2022). Practices of Linked Open Data in Archaeology and Their Realisation in Wikidata. *Digital*, 2(3), 333-364. <https://doi.org/10.3390/digital2030019>.

- Silleni, A., Giordano, G., Isaia, R. & Ort, M. H. (2020). The Magnitude of the 39.8 ka Campanian Ignimbrite Eruption, Italy: Method, Uncertainties and Errors. *Frontiers in Earth Science*, 8, 543399. <https://doi.org/10.3389/feart.2020.543399>.
- Tansem, K. & Johansen, H. (2008). The world Heritage rock art in Alta. *Adoranten*, 2008, 65-84. <https://www.rockartscandinavia.com/images/articles/a8alta.pdf> [15.1.2025].
- Tansem, K. & Storemyr, P. (2021). Red-coated rocks on the seashore: The esthetics and geology of prehistoric rock art in Alta, Arctic Norway. *Geoarchaeology*, 36(2), 314-334. <https://doi.org/10.1002/gea.21832>.
- Thiery, F. (2020). Linked Reindeers? A Linked Open Data approach for rock art in Alta. *Squirrel Papers*, 2(3), #1. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4074912>.
- Thiery, F. (2022). SPARQ Ogham – Irische Ogham-Steine als Linked Open Data [HTML, XML, PDF]. *ZfdG – Zeitschrift für digitale Geisteswissenschaften, Fabrikation von Erkenntnis – Experimente in den Digital Humanities* (Sonderband 5). https://doi.org/10.17175/SB005_010.
- Thiery, F. (2023). Fuzzy Spatial Locations Ontology. *Squirrel Papers*, 5(2), #3. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10362777>.
- Thiery, F. & Homburg, T. (2020). QGIS – A SPARQ Unicorn? Eine Einführung in Linked Open Geodata zur Integration von RDF in QGIS Plugins. *Tagungsband FOSSGIS-Konferenz 2020*, 2020, 68-71. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3719127>.
- Thiery, F. & Homburg, T. (2024a). SPARQ Unicorn QGIS Plugin. *Squirrel Papers*, 6(2), #5. <https://doi.org/10.5281/zenodo.13828632>.
- Thiery, F. & Homburg, T. (2024b). SPARQ Unicorn QGIS Plugin v0.17. *Squirrel Papers*, 6(2), 1. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10779466>.
- Thiery, F. & Mees, A. W. (2024). Sharing Linked Open Data with domain-specific data-driven community hubs – archaeology.link in NFDI4Objects. *Archeologia e Calcolatori*, 35(2), 63-74. <https://doi.org/10.19282/ac.35.2.2024.08>.
- Thiery, F., Mees, A. W., Weisser, B., Schäfer, F., Baars, S., Nolte, S., ... Von Rummel, P. (2023). Object-Related Research Data Workflows Within NFDI4Objects and Beyond. In Y. Sure-Vetter & C. Goble (Eds.), *1st Conference on Research Data Infrastructure (CoRDI) – Connecting Communities* (Vol. 1, pp. CoRDI2023-46). Hannover: TIB Open Publishing. <https://doi.org/10.52825/cordi.v1i.326>.
- Thiery, F. & Schenk, F. (2023a). How to locate the Campanian Ignimbrite site Urluia based on literature? How to provide and publish this data in a FAIR way? *Squirrel Papers*, 5(1)(1), #5. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10262720>.
- Thiery, F. & Schenk, F. (2023b). Modelling of Uncertainty in Geo Sciences Sites. *Squirrel Papers*, 5(1)(1), #4. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10255259>.
- Thiery, F., Schenk, F. & Baars, S. (2023). Dealing with doubts: Site georeferencing in archaeology and in the geosciences. *Squirrel Papers*, 5(1), #6. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.10291889>.
- Thiery, F., Schenk, F. & Baars, S. (2024). Dealing with doubts: Site georeferencing in archaeology and in the geosciences. *Archeologia e Calcolatori*, 35(2), 97-106. <https://doi.org/10.19282/ac.35.2.2024.11>.
- Thiery, F., Schenk, F., Baars, S., Tolle, K. & Thiery, P. (2024). Modellierung von Fuzzyness / Wobbliness in Geodaten – Am Beispiel archäologischer und geowissenschaftlicher Fundortreferenzen. *Tagungsband FOSSGIS-Konferenz 2024*, 2024, 64-73. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10571858>.
- Thiery, F., Schenk, F., Schmidt, S. C., Homburg, T., Distel, A.-K. & Thiery, P. (2024). Das Research Squirrel Engineers Network: Digitale Services zum digitalen Datenmanagement aus der Archäoinformatik- und Citizen Science-Community. *Squirrel Papers*, 6(3), #10. <https://doi.org/10.5281/zenodo.13897231>.
- Thiery, F., Schmidt, S. C., Homburg, T. & Trognitz, M. (2020). The SPARQL Unicorn: An introduction. *Squirrel Papers*, 2(1), #1. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3742185>.
- Ton-That, T., Singer, B. & Paterne, M. (2001). 40Ar/39Ar dating of latest Pleistocene (41 ka) marine tephra in the Mediterranean Sea: Implications for global climate records. *Earth and Planetary Science Letters*, 184(3-4), 645-658. [https://doi.org/10.1016/S0012-821X\(00\)00358-7](https://doi.org/10.1016/S0012-821X(00)00358-7).
- Tsanova, T., Veres, D., Hambach, U., Spasov, R., Dimitrova, I., Popov, P., ... Sirakova, S. (2021). Upper Palaeolithic layers and Campanian Ignimbrite/Y-5 tephra in Toplitsa cave, Northern Bulgaria. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 37, 102912. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2021.102912>.
- Veres, D., Lane, C. S., Timar-Gabor, A., Hambach, U., Constantin, D., Szakács, A., ... Onac, B. P. (2013). The Campanian Ignimbrite/Y5 tephra layer – A regional stratigraphic marker for Isotope Stage 3 deposits in the Lower Danube region, Romania. *Quaternary International*, 293, 22-33. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2012.02.042>.

Wilkinson, M. D., Dumontier, M., Aalbersberg, IJ. J., Appleton, G., Axton, M., Baak, A., ... Mons, B. (2016). The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship. *Scientific Data*, 3, 160018.

Ziegler, S. (1994). *Die Sprache der altirischen Ogam-Inschriften*. Göttingen: Vandenhoeck und Ruprecht.

Danksagung

Die Autor:innen richten einen großen Dank an das Research Squirrel Engineers Network, insbesondere Sophie C. Schmidt, Timo Homburg, Martina Trognitz und Anne-Karoline Distel für deren Engagement und Mitarbeit in diversen Projekten.

Über die Autoren

FLORIAN THIERY ist studierter Geodät und Geoinformatiker (M.Sc. 2013, FH Mainz) und arbeitet als Research Software Engineer im NFDI4Objects Konsortium am Leibniz-Zentrum für Archäologie (LEIZA). Er hat mehr als 10 Jahre Erfahrung im Bereich semantische Modellierung, LOD und RSE im Bereich der Archäoinformatik und Digital Humanities. Er ist Gründer des Research Squirrels Engineers Networks, einer der Hauptentwickler des SPARQ Unicorn QGIS Plugins und Stipendiat des Fellow-Programm Freies Wissen der Wikimedia Deutschland 2020/21.

FIONA SCHENK ist studierte Geowissenschaftlerin (M.Sc. 2020, JGU Mainz) und zurzeit Doktorandin in der AG Klima und Sedimente bei Univ.-Prof. Dr. Frank Sirocko zum Thema Tephren.

PETER THIERY ist ein Citizen Scientist, ausgebildeter Radio- und Fernsehtechnikermeister (1986, Handwerkskammer Mannheim) und interessiert sich insbesondere für irische Ogham Steine, Philatelie und Numismatik.

Florian Thiery M.Sc.
Research Squirrel Engineers Network
D-55128 Mainz
mail@fthiery.de

<https://orcid.org/0000-0002-3246-3531>

Fiona Schenk M.Sc.
Johannes Gutenberg-Universität Mainz
D-55128 Mainz
fschenk@uni-mainz.de

<https://orcid.org/0009-0008-2877-3204>

Peter Thiery, Radio- und Fernsehtechnikermeister
Research Squirrel Engineers Network
D-67117 Limburgerhof
peter.thiery54@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-3270-2659>

