

Digitale Services in der Archäologie: Aktuelle Entwicklungen und Angebote aus den NFDI4Objects Task Areas Collecting und Protecting

Florian Thiery, Kristina Fella, Lasse Mempel-Länger & Andreas Puhl

Zusammenfassung – Das Konsortium NFDI4Objects widmet sich dem Forschungsdatenmanagement des materiellen Erbes von rund 2,6 Millionen Jahren Menschheits- und Umweltgeschichte. Der Beitrag stellt die zentralen Services der Task Area 2 „Collecting“ und der Task Area 4 „Protecting“ vor, die sich der Verbesserung und Unterstützung im Umgang mit digitalen Daten in Bezug auf Sammlungen und dem Schutz sowie der Erhaltung des kulturellen Erbes widmen. TA2 fokussiert dabei auf die Digitalisierung und Anreicherung von Objektdaten sowie deren Qualifizierung nach den FAIR-Prinzipien. TA4 legt den Schwerpunkt auf die Vernetzung heterogener Daten aus unterschiedlichen Denkmalämtern, Forschungseinrichtungen und Universitäten und die Förderung der standardisierten Dokumentation von konservatorischen und restauratorischen Maßnahmen. Der Aufsatz erläutert die Ansätze und Werkzeuge beider Task Areas und zeigt, wie sie zur digitalen Erfassung, Vernetzung und nachhaltigen Nutzung von Forschungsdaten beitragen. Dabei wird besonderer Wert auf die Open-Science-Prinzipien gelegt, um die Angebote möglichst breit verfügbar und anschlussfähig zu machen.

Schlagwörter – Archäologie; Restaurierung; Konservierung; Sammlungen; Linked Data

Title – Digital services in archaeology: Current developments and services from the NFDI4Objects Task Areas Collecting and Protecting

Abstract – The NFDI4Objects consortium is dedicated to the research data management of material heritage spanning approximately 2.6 million years of human and environmental history. This paper introduces the central services of Task Area 2, „Collecting“, and Task Area 4, „Protecting“, which focus on improving and supporting the handling of digital data related to collections and the protection and preservation of cultural heritage. TA2 concentrates on digitising, enriching, and qualifying object data following the FAIR principles. TA4 focuses on connecting heterogeneous data from various heritage offices, research institutions, and universities while promoting standardised conservation and restoration measures documentation. The paper outlines the approaches and tools developed in both Task Areas and demonstrates how they contribute to the digital recording, interlinking, and sustainable reuse of research data. Emphasis is placed on Open Science principles to ensure broad availability and interoperability of the services provided.

Key words – Archaeology; Conservation; Collections; Linked Data.

Einleitung

Das Konsortium NFDI4Objects (BIBBY ET AL., 2023) der Nationalen Forschungsdateninfrastruktur (NFDI) widmet sich dem Forschungsdatenmanagement des materiellen Erbes von rund 2,6 Millionen Jahren Menschheits- und Umweltgeschichte. Im Fokus dieses Beitrages steht die Entwicklung digitaler Angebote, die speziell auf die interdisziplinäre Forschung und das Datenmanagement an Sammlungsobjekten sowie deren Konservierung, Restaurierung und Schutz abzielen. Die Task Areas (TA) von NFDI4Objects orientieren sich dabei an der Objektbiografie, dem Forschungsdatenlebenszyklus und der „FAIR Object Biography“ (THIERY ET AL., 2023), einem datenbasierten Ansatz, der den gesamten Lebenszyklus eines Objekts umfasst – von der Erfassung („capture“) über die Qualifizierung („qualify“) und Analyse („analyse“) bis hin zur Veröffentlichung („share“) und Vernetzung („interlink“). Dieses Modell garantiert eine nachhaltige Interoperabilität und Wiederverwendbarkeit der Forschungsdaten, die den FAIR-Prinzipien (WILKINSON ET AL., 2016) entsprechen. Die NFDI4Objects

Task Areas spiegeln die zentralen Prozesse im Umgang mit Forschungsdaten wider: TA1 dokumentiert die Objekte, TA2 widmet sich ihrer Erfassung und Sammlung („Collecting“), TA3 unterstützt ihre Analyse und experimentelle Erforschung, TA4 konzentriert sich auf ihren Schutz sowie auf Restaurierungs- und Konservierungsmaßnahmen, einschließlich der Arbeit in der Landesdenkmalpflege („Protecting“), und TA5 gewährleistet die Speicherung, Bereitstellung und Verbreitung der Daten. Die Objekte durchlaufen dabei den Forschungsdatenlebenszyklus „plan & design“, „collect & capture“, „enrich & interpret“, „archive & preserve“, „share, publish & discover“ und „reuse & cite“. Unterstützt wird dieser Zyklus durch FAIRification Services, die Datenmanagement, Anreicherung, Erschließung und Vernetzung in allen Stadien fördern. Insbesondere das Teilen, Vernetzen und Harmonisieren von Forschungsdaten über alle Task Areas hinweg in einem gemeinsamen Wissensspeicher, dem Knowledge Graph (Abb. 1), ist Ziel des NFDI4Objects Konsortiums.

Der Schwerpunkt dieses Aufsatzes liegt dabei auf der Arbeit der Task Area 2 „Collecting“ und

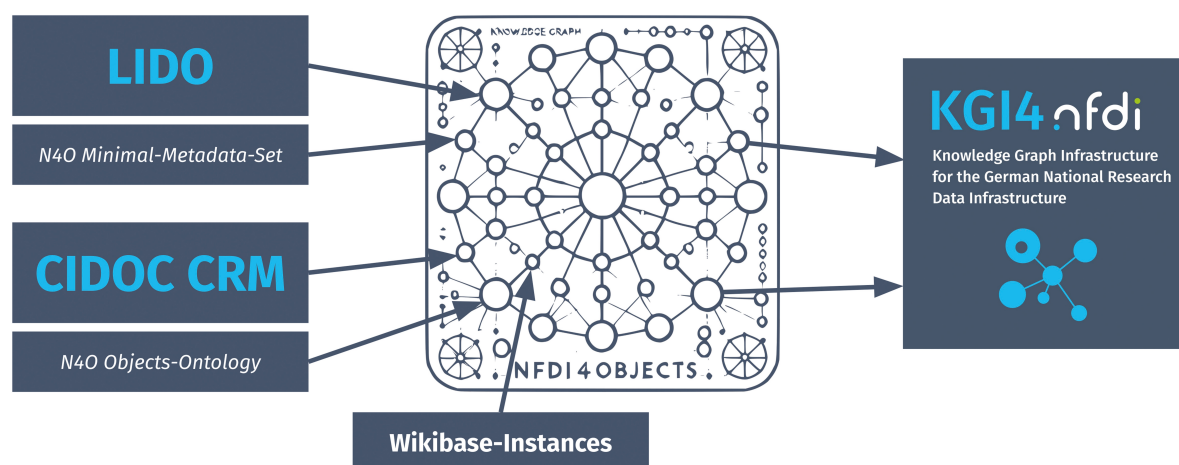


Abb. 1 NFDI4Objects Knowledge Graph Infrastruktur, seine Importmöglichkeiten und Interaktion mit KGI4nfdi. Florian Thiery / LEIZA, CC BY 4.0, Bildmitte: created using OpenAI's DALL·E.

der Task Area 4 „Protecting“. Task Area 2 „Collecting“ (BAARS, BERTHOLD, & THIERY, 2024) entwickelt eine vernetzte Forschungsdateninfrastruktur für Sammlungen und Museen. Ziel ist es, qualitätsorientierte Datenmanagement- und Datenqualifizierungsprozesse zu etablieren, die den Anforderungen an die wissenschaftliche Sammlung von Objekten und Provenienzforschung gerecht werden. Task Area 4 „Protecting“ (HIMMELMANN ET AL., 2024) adressiert Fragestellungen des Forschungsdatenmanagements in Bezug auf Erhaltung und Schutz von Objekten. Besondere Beachtung finden dabei die spezifischen Anforderungen der Konservierung und Restaurierung sowie der Landesdenkmalpflege, wobei letztere in Deutschland vor allem durch föderale Strukturen und gesetzliche Rahmenbedingungen geprägt sind. Die Zusammenarbeit zwischen institutionellen Akteuren, die Entwicklung von Standards und der interdisziplinäre Datenaustausch bilden zentrale Aspekte dieser Arbeit. Der vorliegende Beitrag beleuchtet, welche digitalen Angebote entwickelt wurden oder sich noch in der Entwicklung befinden, um den gesamten Forschungsdatenlebenszyklus zu unterstützen. Es wird dargestellt, wie diese Dienste dazu beitragen, Sammlungsarbeit, Denkmalpflege, Restaurierung und wissenschaftliche Forschung effizient zu verknüpfen. Open-Science-Ansätze spielen dabei eine entscheidende Rolle, wobei auf Open-Source-Software (FOSS), Open Data – insbesondere Linked Open Data (BERNERS-LEE, 2006; SCHMIDT, THIERY & TROGNITZ, 2022) – und Open Access zurückgegriffen wird. Der Beitrag fußt unter anderem auf folgenden Services: „Academic Meta Tool“¹ (UNOLD, THIERY

& MEES, 2019), eine API für RDF-Modellierung von Vagheiten in Forschungsdaten; „re3dragon“² (THIERY & MEES, 2024), ein Lookup- und Resolver-Tool für Linked Open Data-Ressourcen; das Data and Research Tool Framework „archaeology.link“³ (THIERY & MEES, 2023a); dem „Konservierungsthe-saurus für archäologische Kulturgüter“, ein nach SKOS-modellierter Open Access Fachthesaurus des Leibniz-Zentrum für Archäologie (LEIZA); das „FAIRification-Tool for conservation and restoration“, einem interaktiven WebTool, welches Restauratoren bei der Aufarbeitung ihrer Daten entsprechend der FAIR-Prinzipien unterstützt und einem Provenienzgazetteer zur FAIRen Bereitstellung in einer Wikibase.

Digitale Services aus TA2: Provenienzforschung und Datenqualifizierung

Das Forschungsdatenmanagement des materiellen Erbes von rund 2,6 Millionen Jahren Menschheits- und Umweltgeschichte stellt besondere Anforderungen an die Erfassung, Verarbeitung und nachhaltige Bereitstellung von Daten zu Sammlungsobjekten. Vor diesem Hintergrund widmet sich die Task Area 2 (TA2) „Collecting“ im Konsortium NFDI4Objects der Entwicklung digitaler Strategien und Infrastrukturen, die die Erfassung und Qualifizierung dieser Daten systematisch unterstützen und gleichzeitig die Interoperabilität und Wiederverwendbarkeit der Informationen sicherstellen.

Ein zentraler Bestandteil dieses Ansatzes ist die Transformation physischer Objekte in digitale

Objekte. Diese Transformation umfasst nicht nur die technische Digitalisierung, sondern auch die Erfassung grundlegender Metadaten, die essenziell für die Identifikation und Kategorisierung der Objekte sind. Zu diesen Kerninformationen (core data) zählen unter anderem Geokoordinaten, Bezeichner, Materialangaben und Typologien. Durch diese initiale Erhebung entsteht ein strukturierter, maschinenlesbarer Datensatz, der als Ausgangspunkt für die weitere Anreicherung dient. Im nächsten Schritt wird dieser Basisdatensatz in Sammlungssystemen durch zusätzliche Metadaten ergänzt. Diese Anreicherungen dienen dazu, das Verständnis und die Zugänglichkeit der Objekte zu verbessern. Dies umfasst sowohl den objektinternen Kontext als auch die Einbindung externer Informationen, wodurch die wissenschaftliche Nutzbarkeit erheblich erweitert wird. Die Einbindung in Sammlungssysteme schafft zudem eine Grundlage für die langfristige Dokumentation und den institutionsübergreifenden Datenaustausch. Der dritte und zentrale Schritt ist die Qualifizierung dieser Daten, um ihre wissenschaftliche Aussagekraft zu erhöhen und eine nachhaltige Nachnutzbarkeit im Sinne der FAIR-Prinzipien zu gewährleisten. Hierbei werden Metadaten mit qualifizierten Referenzen wie

Normdaten, community-basierten Thesauri und kontrollierten Vokabularen verknüpft. Darüber hinaus werden interpretative Informationen wie Annotationen und Attributzuweisungen ergänzt, um nicht nur die rein dokumentarischen, sondern auch die kontextuellen und inhaltlichen Dimensionen der Daten zu erfassen. Die Modellierung von fuzziness und wobbliness, Unsicherheiten und Mehrdeutigkeiten, stellt zudem eine Herausforderung dar, um diese Daten mit anderen Forschenden teilen zu können. Dieser Dreiklang – von der Digitalisierung über die Metadatenanreicherung bis hin zur Datenqualifizierung – bildet die methodische Basis der Task Area 2.

Provenienzgazetteer in einer Wikibase-Instanz

Für die Provenienzforschung wird in einer TWG eine eigenständige Wikibase-Instanz als „Provenienzgazetteer“ (Abb. 2) aufgebaut, die als Alternative zur Gemeinsamen Normdatei (GND) und zu Wikidata dient. Während die GND durch eingeschränkten Zugriff und die begrenzte Aufnahme von Entitäten limitiert ist, bietet Wikidata durch seine offene Community-Struktur zwar eine breite Basis, jedoch fehlt hier die notwendige kuratorische Kontrolle. Mit einer eigenen Wikibase-Lösung, die dieselbe Software wie Wikidata



Abb. 2 Symbolisches Bild zur Illustration einer Wikibase-Instanz als Provenienzgazetteer und Daten-Hub zu Objekten. Florian Thiery CC BY 4.0, created using OpenAI's DALL·E.



Abb. 3 Schema zur Darstellung des Terminologie-Ecosystems für Sammlungen in Task Area 2 Collecting der NFDI4Objects Initiative.
Florian Thiery / LEIZA, CC BY 4.0.

nutzt, kann ein kontrolliertes, flexibel erweiterbares System geschaffen werden. Als Alternative könnte auch FactGrid, eine spezialisierte Wikibase-Instanz für historische Daten, in Betracht gezogen werden. Die Nutzung von Wikibase als technologische Grundlage bringt zahlreiche Vorteile mit sich, insbesondere die Skalierbarkeit, die Unterstützung semantischer Daten und die Möglichkeit, benutzerdefinierte Datenmodelle zu entwickeln. Dies ist für die Provenienzforschung essenziell, da sie häufig Entitäten dokumentiert, die in bestehenden Normdatensystemen fehlen oder nur unzureichend repräsentiert sind. Durch die Einführung des Provenienzgazetteers wird nicht nur die Qualität der Daten verbessert, sondern auch eine nachhaltige Grundlage für die digitale Provenienzforschung geschaffen.

Die geplante Wikibase-Instanz soll drei wesentliche Funktionen erfüllen:

1. *Meta-Index für verteilte Systeme:* Der Provenienzgazetteer dient als „Meta-Index“, indem er gemeinsame Q-Identifizierer⁴ als „umbrella“ bereitstellt, die eine Verknüpfung zwischen unterschiedlichen Identifikatoren und Systemen ermöglichen (z.B. Normdatenportal

des Münzkabinetts (NDP), Wikidata, VIAF, GND) und eine zentrale Vermittlungsschicht schafft, die verteilte Datenquellen interoperabel macht.

2. *Gemeinsame Referenzterminologie:* Die Wikibase-Instanz soll zitierbare, persistent verfügbare URIs für Personen (Q6) („Humans“) und Körperschaften (Q7) („Cooperate Bodies“) bereitstellen, auch für solche, die in anderen Systemen als der GND bisher nicht abgedeckt sind. Neben diesen Entitäten unterstützt die Plattform auch andere „Core Entities“ der Provenienzforschung, nämlich Sammlungen (Q40) („Collections“), Objekte (Q33) („Objects“) und Ereignisse (Q43) („Events“). Dies erleichtert die konsistente Dokumentation und Verknüpfung von Provenienzen.
3. *Daten-Hub mit semantischem Modell:* Die Modellierung der Daten erfolgt nach dem bewährten Datenmodell von Wikibase, das auch in Wikidata Anwendung findet. Hierbei werden die Entitäten wie „Human“, „Corporate Body“, „Object“, „Collection“ und „Event“ mit ihren spezifischen Eigenschaften definiert. Dieses Modell bietet maximale Flexibilität und Transparenz für die Erfassung komplexer Provenienzen.

Beispiele für Wikibase-Entitäten als Meta-Index aus dem Kontext der Numismatik mit Links zu NDP, GND, VIAF oder Wikidata sind die Berliner Münzhändler Dr. Philipp Lederer (Q25) und Felix Schelssinger (Q26) als Person, sowie die A. Riebeck'sche Montanwerke (Q46) als Körperschaft. Die nachfolgenden NDP-basierten (Normdatenportal des Münzkabinetts) Q-Identifizier dienen als gemeinsame Referenzterminologie mit zitierbaren PIDs: Der Münzhändler Zakaris Bezdikian (Q20) oder die Firma Ignaz Storek in Brünn (Q23). Des Weiteren zeigen sich Beziehungen zwischen Personen in den Daten im Sinne eines Data Hub, so ist Benoni Friedländer (Q44) der Vater von (Q38) Dr. Julius Friedländer (Q45), Ludwig Peter Spiegelthal (Q48) der Bruder (Q37) von Friedrich Wilhelm Spiegelthal (Q49) und Emmi Heynen (Q28) die Ehefrau (Q32) und Witwe (Q31) von Dr. Reinhard Heynen (Q27). Zudem werden Objekte zwischen Personen geteilt: z.B. gingen Q35/Q36 als Erbe von Q27 auf Q28 über und Q45 teilt sich mit Alexander Avierino (Q47) Objekt Q34. Mit dieser Methodik lassen sich auch Namensambiguitäten modellieren, hier am Beispiel „Müller“: Q50 ist „Regierungsrat Müller“, Q51 ist „Königlicher Bergrat Müller aus Schwäbisch Hall“, Q52 ist „Hofsekretär Müller in Dresden“ und Q53 „Geheimer Hofrat W. Müller“.

Termonologie-Ecosystem für Sammlungen

Das Ecosystem aus DANTE,⁵ cocoda,⁶ BARTOC,⁷ re3dragon (THIERY & MEES, 2024), museumsvocabular.de⁸ und TS4NFDI⁹ bietet eine umfassende Infrastruktur für das Forschungsdatenmanagement von Sammlungen und Museumsobjekten (**Abb. 3**). Es zielt darauf ab, „community driven vocabularies & authority files“ (z.B. Thesauri, kontrollierte Vokabulare, Schlagwortlisten, Gazetteers, Ontologien, etc.) in Anwendungen interoperabel nutzbar zu machen und somit die Qualität und Standardisierung von Metadaten zu fördern. Die Interaktion dieser Tools erfolgt in Verknüpfung des Base4NFDI Services TS4NFDI, der die Suche nach Terminologien sowie deren Einbindung in Forschungs- und Dokumentationsanwendungen ermöglicht.

DANTE dient als zentrale Plattform zur Kuratierung und Verknüpfung von Metadaten und Vokabularen, um Forschungsdaten standardisiert und interoperabel zu gestalten. Cocoda ergänzt diese Funktionen, indem es ein Mapping-Tool bereitstellt, mit dem Benutzer unterschiedliche Begriffssysteme vergleichen und verbinden können, um Äquivalenzen zwischen Vokabularen herzustellen. BARTOC fungiert als umfassendes Register, das kontrollierte Vokabulare, Thesauri

und Ontologien auflistet und diese für Mapping- und Verknüpfungsprozesse in Cocoda zugänglich macht. Gemeinsam erleichtern diese Tools die Standardisierung, semantische Anreicherung und Interoperabilität von Daten. Der Service re3dragon erweitert das Ecosystem durch die Bereitstellung eines vernetzten LOD-Ressourcenverzeichnisses, das Normdaten, Thesauri, Gazetteers und typologiespezifische Ressourcen umfasst. Museumsvocabular.de ergänzt diese Angebote, indem es Museen und Sammlungen eine zentrale Plattform für Vokabulare bietet. Es unterstützt die Standardisierung und Harmonisierung von Bezeichnungen und fördert die Transformation bisher nicht maschinenlesbarer Vokabulare in digitale Formate. Zusammen schaffen diese Tools ein flexibles Ecosystem, das innerhalb der NFDI die FAIR-Prinzipien unterstützt, die Qualität von Metadaten verbessert und Sammlungs- und Museumsdokumentation nachhaltig modernisiert. Sie finden Anwendung in der Archäologie, Denkmalpflege und Museumsarbeit und fördern die Vernetzung und Nachnutzbarkeit von Forschungsdaten.

Modellierung von Unsicherheiten und Mehrdeutigkeiten

Die semantische Modellierung von Unsicherheiten und Mehrdeutigkeiten spielt eine zentrale Rolle bei der Erzeugung und Bereitstellung von FAIRen Daten, insbesondere im Hinblick auf die Nachnutzung und Nachvollziehbarkeit („R“) sowie die Interoperabilität („I“). Um Unsicherheiten und Mehrdeutigkeiten in Daten adäquat abzubilden, arbeitet eine Temporary Working Group (TWG) von NFDI4Objects gemeinsam mit einem „TRAIL“ daran, Good Practices und ein Research Toolkit für die Wissensmodellierung zu entwickeln. Ziel ist es, interoperable Formate zu fördern, die sowohl die präzise Beschreibung als auch die transparente Verarbeitung komplexer Forschungsdaten ermöglichen. Dieses Kapitel beleuchtet die Ansätze und Herausforderungen bei der Modellierung von Unsicherheiten und Mehrdeutigkeiten im Kontext der FAIR-Prinzipien.

Ein Beispiel ist der vermeintlich einfache Begriff „Mainz“ (**Abb. 4**, rechts). Mainz ist nicht sehr eindeutig (**Abb. 4**, links), hier kann z.B. „Mainz im römischen Reich“, „Millitär Lager in Mainz“, „Mainz-Kastel“ (heute Wiesbaden) oder „Mainz-Bischofsheim“ (heute Kreis Groß-Gerau) gemeint sein. Auch in Blick in das Semantic Web und in Gazetteers kann zur Verwirrung führen. Hier stellt GeoNames z.B. die Ressourcen 2874225 (Mainz in RLP), 2874226 (Mainz in Bayern), Pleiades Mogontiacum (109169) oder der iDAI.



Abb. 4 links: Symbolisches Bild zur Illustration unterschiedlicher Kontexte von Mainz, u.A. auch in Gazetteers wie GeoNames, iDAI.gazetteer und Pleiades; **rechts:** Fränkische Porträtmünzstätten 774-877. links: Florian Thiery CC BY 4.0, created using OpenAI's DALL·E plus own work; rechts nach (SEELBACH, 2023, 381; 383).

gazetteer (2052457) als Mainz in RLP zur Verfügung, der ein owl:sameAs zu geonames:2874225, pleiades:109169 und gnd:4037124-4 aufzeigt. Besonders letzteres Beispiel zeigt, dass dies semantisch nicht lösbar ist und hierfür Good Practices geschaffen werden müssen, wie man damit konkret umgeht. Konkret zeigt dies z.B. die Samian Research Datenbank: die Scherbe 56976 mit einem Töpferstempel 2a von Decmus iv zeigt als Fundort Lavoye mit der Verlinkung zu pleiades:109103. Diese Angabe erscheint allerdings willkürlich, da sie auch über geonames:6437070 bzw. geonames:3005427 oder tgn:4006197 gelöst werden könnte. Hier ist eine Lösung¹⁰ wie z.B. in der fuzzy-sl Wikibase vorzuziehen. In der Fuzzy Spatial Locations Wikibase (fuzzy-sl) können fuzzy geospatial location modelliert und mit der research community geteilt werden. Umgesetzt wurde dies bereits für geolocations aus der Archäologie (z.B. Ogham Stones¹¹, Silver Coinage of Croton¹²) und den Geowissenschaften (z.B. Campanian Ignimbrite¹³ aus (SCHENK, HAMBACH, BRITZIUS, VERES, & SIROCKO, 2024; THIERY & SCHENK, 2023). In der Samian Research Datenbank werden z.B. auch Konzepte von Wandertöpfen (HARTLEY, 1977) wie von Decmus iv (Abb. 5, A-C) als Zeichenkette (String) abgebildet: Boucheporn AND Guegnon AND Haute-Yutz AND Lavoye AND Sinzig?. Doch was bedeutet das ? und die ANDs? Welche Produktionszentren sind sicherer als andere? (am Produktionsort gefunden: Lavoye, Haute-

Yutz, Sinzig; basierend auf der Machart: Guegnon, Boucheporn). Auch die Zuweisung von Gefäßformen (hier Dragendorff) kann durch unsichere Angaben angegeben werden, wie z.B. 18 OR 15/17 OR 18/31 (Abb. 5, D-F). Zur Modellierung kann hier das Academic Meta Tool (AMT) helfen (THIERY, MEES, TOLLE & WIGG-WOLF, 2022, pp. 6-9; UNOLD ET AL., 2019; THIERY & MEES, 2023b). AMT ermöglicht auch ein Reasoning dieser vagen Graphdaten.

Linked Open Data & Knowledge Graphs

Forschungsdaten in NFDI4Objects, insbesondere in Task Area 2 (Collecting), zeichnen sich durch ihre Heterogenität und Dezentralität aus. Diese Eigenschaften erfordern Modellierungsansätze und Technologien, die eine umfassende Verknüpfbarkeit der Daten sicherstellen. Semantik, RDF und Linked Open Data (BERNERS-LEE, 2006; SCHMIDT ET AL., 2022) stellen hierbei die bevorzugten Methoden dar. Besonders die Nutzung von CIDOC CRM als Basis ermöglicht die Erstellung von 5-Sterne-Daten (HASNAIN & REBHOLZ-SCHUHMAN, 2018) im Sinne der Linked Open Data-Prinzipien oder sogar 7-Sterne-Daten (HYVÖNEN, TUOMINEN, ALONEN & MÄKELÄ, 2014), die zusätzlich die Dokumentation der zugrunde liegenden Schemata und Ontologien (vocabularies im Sinne von FAIR) umfassen und so zur stetigen Erweiterung der Linked Open Data Cloud beitragen. In Task Area 2 stellt der LOD Hub archaeology.link (THIERY & MEES, 2023a) einen zentralen

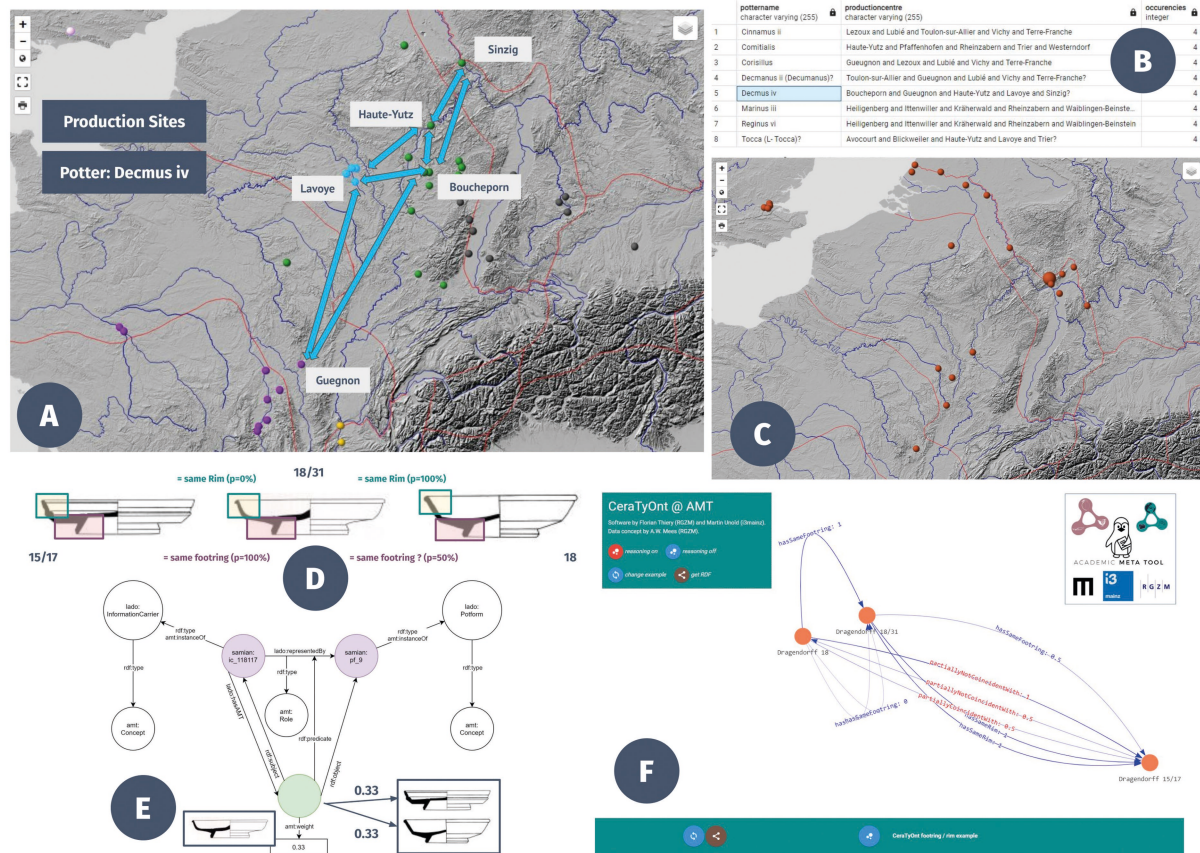


Abb. 5 A: Produktionsstätten des wandering potter Decmus iv; B: Samian Research Datenbankeinträge mit Produktionsstätten-Strings; C: Verbreitung des Decmus iv; D: Exemplarische Darstellung, wie eine unvollständige Form Dragendorff 18 durch 18/31 oder 15/17 durch teilweise identische Ränder und/oder identische Standrinde repräsentiert werden kann; E: Schematische Darstellung der AMT-Modellierung des Strings 18 OR 15/17 OR 18/31; F: Reasoning mit AMT, via <https://rgzm.github.io/amt-ceratyont/>. A-D: Allard Mees / Samian Research, CC BY 4.0; E: Florian Thiery / Dennis Gottwald, CC BY 4.0; F: Florian Thiery, CC BY 4.0.

Service dar, der semantische Modellierung mithilfe der Linked Archaeological Data Ontology (LADO) ermöglicht. LADO nutzt CIDOC CRM als eine ihrer Referenzontologien und dient als Basis für die Publikation von Linked Open Data, community-driven vocabularies, Ontologien und Research Software, die als „FAIRification Tools“ Anwendung finden. Eine für Task Area 2 entwickelte Domain-Ontology wird auf LADO basieren und Teil der N4O Object Ontology (N4O OO) werden, die wiederum die semantische Repräsentation des N4O MinimalMetadataSet (N4O MMDS) bildet. Beispiele für die Publikation von LOD mit LADO über archaeology.link umfassen die Linked Open Samian Ware. Diese Daten wurden durch einen semi-automatischen Workflow aus einer relationalen Datenbank in RDF überführt und stehen mit bidirektionalen Links in Wikidata zur Verfügung. Die Entwicklung von

LADO basiert auf der Ontologie der Linked Open Ogham Daten (THIERY, 2022), die im Rahmen des Fellow-Programms Freies Wissen der Wikimedia Deutschland entstand. Die Einbindung dieser Daten in Wikidata erlaubt unter anderem Abfragen mithilfe von Forschungstools wie dem „SPARQLing Unicorn QGIS Plugin“ (THIERY & HOMBURG, 2019) (Abb. 6). Wikidata ist jedoch nicht die einzige Wikibase-Instanz, die zur Ablage von Ressourcen genutzt wird. So zeigen NFDI-Konsortien wie NFDI4Objects, NFDI4Memory und NFDI4Culture anhand der Modellierung von Ogham-Steinen, wie FactGrid, Semantic Kompakt und die fuzzy-sl Wikibase federation für Queries genutzt werden können (THIERY, ROSSENOVA & SIMONS, 2024). Ein zentraler Aspekt ist zudem die Modellierung von „fuzzyness“ und „wobbliness“ in RDF, die in die N4O OO integriert wird. Durch diese Services, Methoden und Modellierungen

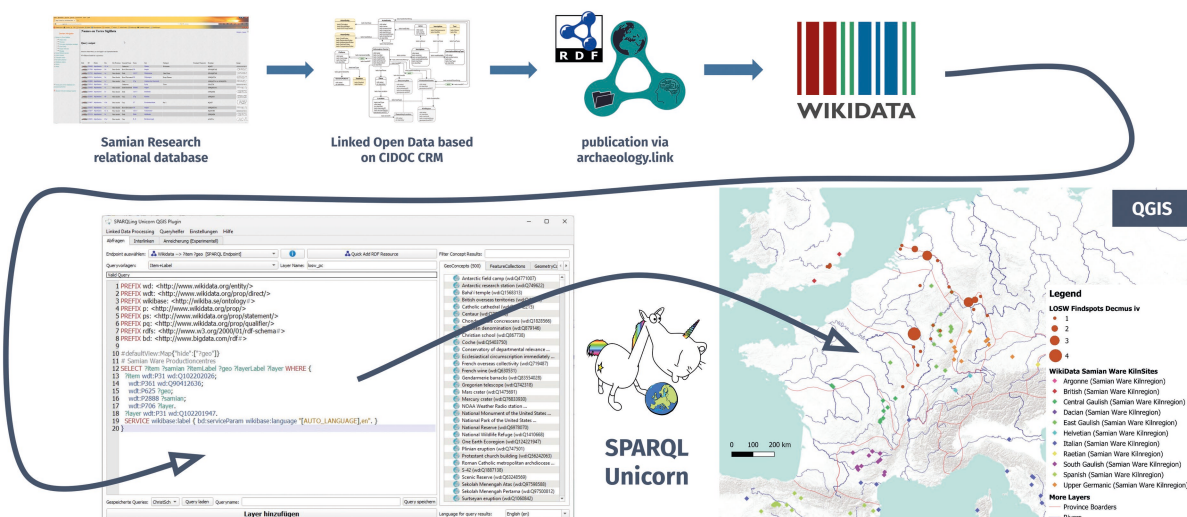


Abb. 6 Schema zur Darstellung des Samian Research Linked Open Data und Wikidata Workflows mit Abfrage (via <https://w.wiki/BA3A>) über das SPARQLing Unicorn QGIS Plugin. Florian Thiery / LEIZA, CC BY 4.0. Bild unten rechts: Florian Thiery, CC BY 4.0. Daten via Wikidata, CCO und Samian Research, m-DPPL.

wird die Integration der RDF-Daten in den NFDI-4Objects Knowledge Graph ermöglicht, sodass diese unter anderem über das SPARQLing Unicorn effizient abgefragt werden können (Abb. 7).

Digitale Services aus TA4: Restaurierung/ Konservierung und Landesdenkmalpflege

Einen weiteren wesentlichen Bestandteil der Objektbiographie, die im Einklang mit dem Datenlebenszyklus und den FAIR-Prinzipien im Rahmen von NFDI4Objects digital abbildbar gemacht werden soll, stellen Maßnahmen zum Schutz und Erhalt des Objektes dar. Dies beinhaltet zum Beispiel Daten zu Maßnahmen der Konservierung und Restaurierung von Objekten, um deren Substanz und Erscheinungsbild langfristig zu erhalten und erforschbar zu machen. Gleichzeitig umfasst die Denkmalpflege weitergehende Aufgaben wie die Erfassung und Verwaltung von Daten zu Denkmälern, Schutzgebieten und Citizen-Science. Da diese Bereiche unterschiedliche Anforderungen an das Forschungsdatenmanagement stellen, werden sie im Folgenden separat betrachtet, um ihren spezifischen Bedürfnissen gerecht zu werden.

Konservierung und Restaurierung

Viele archäologische Objekte erfordern spezifische Maßnahmen der Konservierung und Restaurierung, sei es nach ihrer Ausgrabung, während der musealen Ausstellung, der Lagerung im Fundarchiv oder im Leihverkehr. Diese Maß-

nahmen sichern sowohl den physischen Erhalt als auch die wissenschaftliche Aussagekraft der Objekte. Da jeder Eingriff in das Objekt ein neues Ereignis in dessen Objektbiographie darstellt, ist die präzise Dokumentation von konservatorischen bzw. restauratorischen Maßnahmen und der dabei entstandenen „modernen“ Spuren essenziell. Die Objektbiographie eines archäologischen Objektes endet nicht bei dessen Deponierung im Boden, sondern wird im Umgang und der Erforschung des Objektes stetig erweitert.

Die fortschreitende Digitalisierung eröffnet im Bereich der Konservierung und Restaurierung neue Möglichkeiten für die präzise und nachhaltige Erfassung und Dokumentation von Objektzuständen und Maßnahmen. Sie bringt jedoch gleichzeitig auch Herausforderungen bei der Verwaltung und Nutzung der wachsenden Datenmengen mit sich. Es fehlen standardisierte Dokumentationsansätze, viele Daten liegen in isolierten, nicht interoperablen Systemen vor. Unterschiedliche Fachterminologien erschweren zusätzlich den Austausch und das gemeinsame Verständnis.

Ein wesentlicher Bestandteil zur Vermeidung von Unklarheiten in der wissenschaftlichen Kommunikation liegt in der Verwendung kontrollierter Vokabulare. In zahlreichen Restaurierungseinrichtungen existieren bereits individuelle Wortlisten, Tabellen und Glossare zur Beschreibung von Schadensbildern, Konservierungs-/Restaurierungsmaßnahmen und Herstellungstechniken. Diese liegen jedoch häufig in wenig (technisch) standardisierten

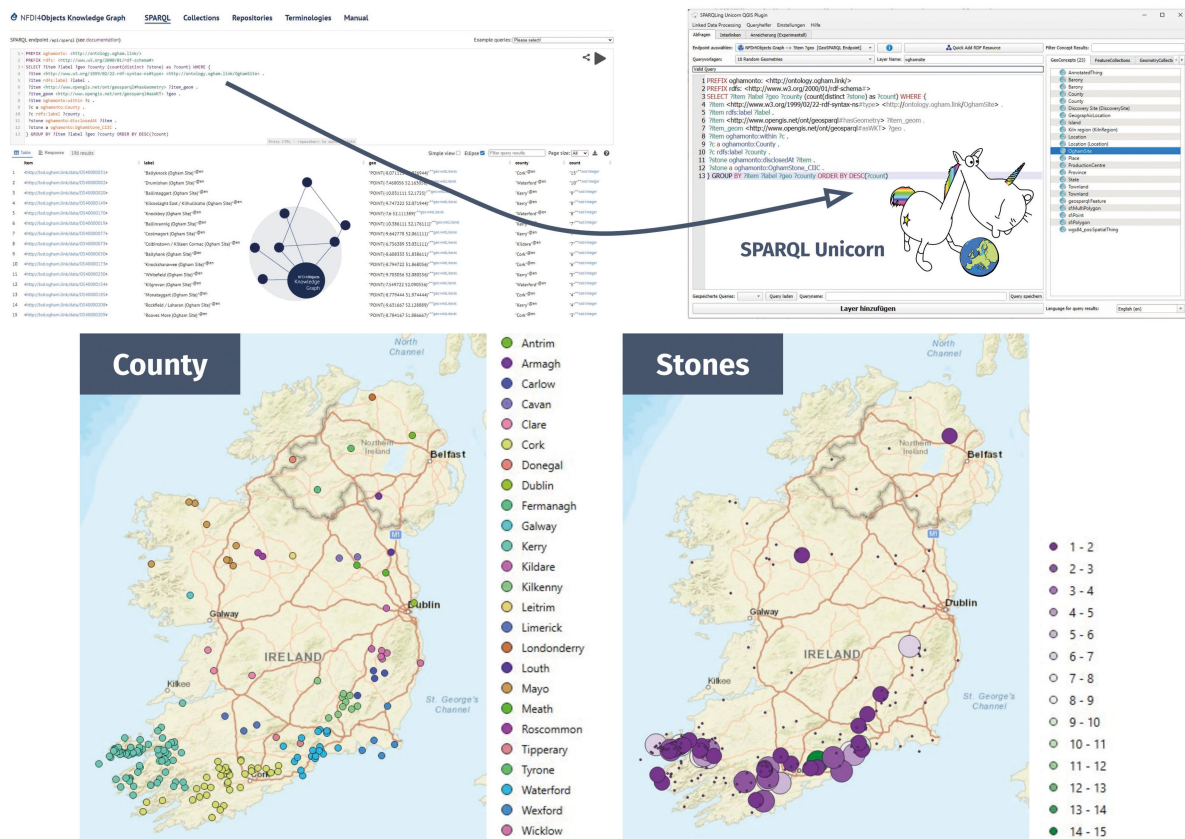


Abb. 7 Schema zur Darstellung einer Abfrage des NFDI4Objects Knowledge Graphs nach Irischen Ogham Steinen, deren County und Anzahl (via <https://t1p.de/v0lg7>) über das SPARQL Unicorn QGIS Plugin. Florian Thiery, CC BY 4.0.

und maschinenlesbaren Formaten oder nur für den internen Gebrauch vor. Die Task Area 4 in NFDI4Objects hat es sich daher unter anderem zur Aufgabe gemacht, Unterstützungsmöglichkeiten zur technischen Aufarbeitung dieser wertvollen Ressourcen zu entwickeln. Im Zuge eines Pilotprojektes („Use Case“) wurde ein Workflow zur niedrigschwelligen, standardisierten Aufarbeitung bestehender Fachterminologien, auch im Hinblick auf die FAIR-Prinzipien (WILKINSON ET AL., 2016), erarbeitet. Dem Workflow zu Grunde liegt das Simple Knowledge Organization System des W3C (WORLD WIDE WEB CONSORTIUM, 2009), aber auch bestehende Normen zur Erstellung von Thesauri (DEXTRE CLARKE & ZENG, 2012) sowie weitere Publikationen zur Arbeit mit kontrollierten Vokabularen (HARPRING, 2010) fanden bei der Ausarbeitung des Workflows Beachtung. Ein dazugehöriges Web-Tool ermöglicht die Visualisierung von Thesaurus-Strukturen sowie die interaktive Kommentierung einzelner Begriffe und deren Definitionen (Abb. 8). Entwickelt wurden der Workflow und das Web-Tool an konkreten restaurierungsspezifischen Terminologie-Daten,

die von Seiten des Leibniz-Zentrum für Archäologie (LEIZA) zur Verfügung gestellt wurden.

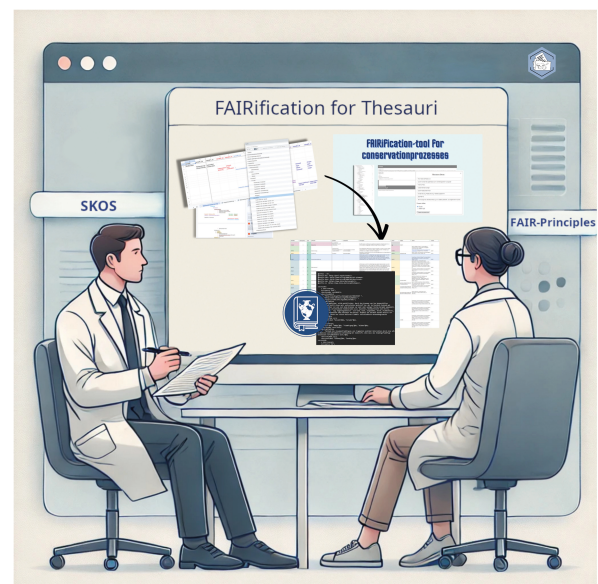


Abb. 8 Symbolische Darstellung des Prozesses der Workflow-Entwicklung. Kristina Fella/LEIZA CC BY 4.0 (Teile dieser Grafik wurden mit KI generiert).

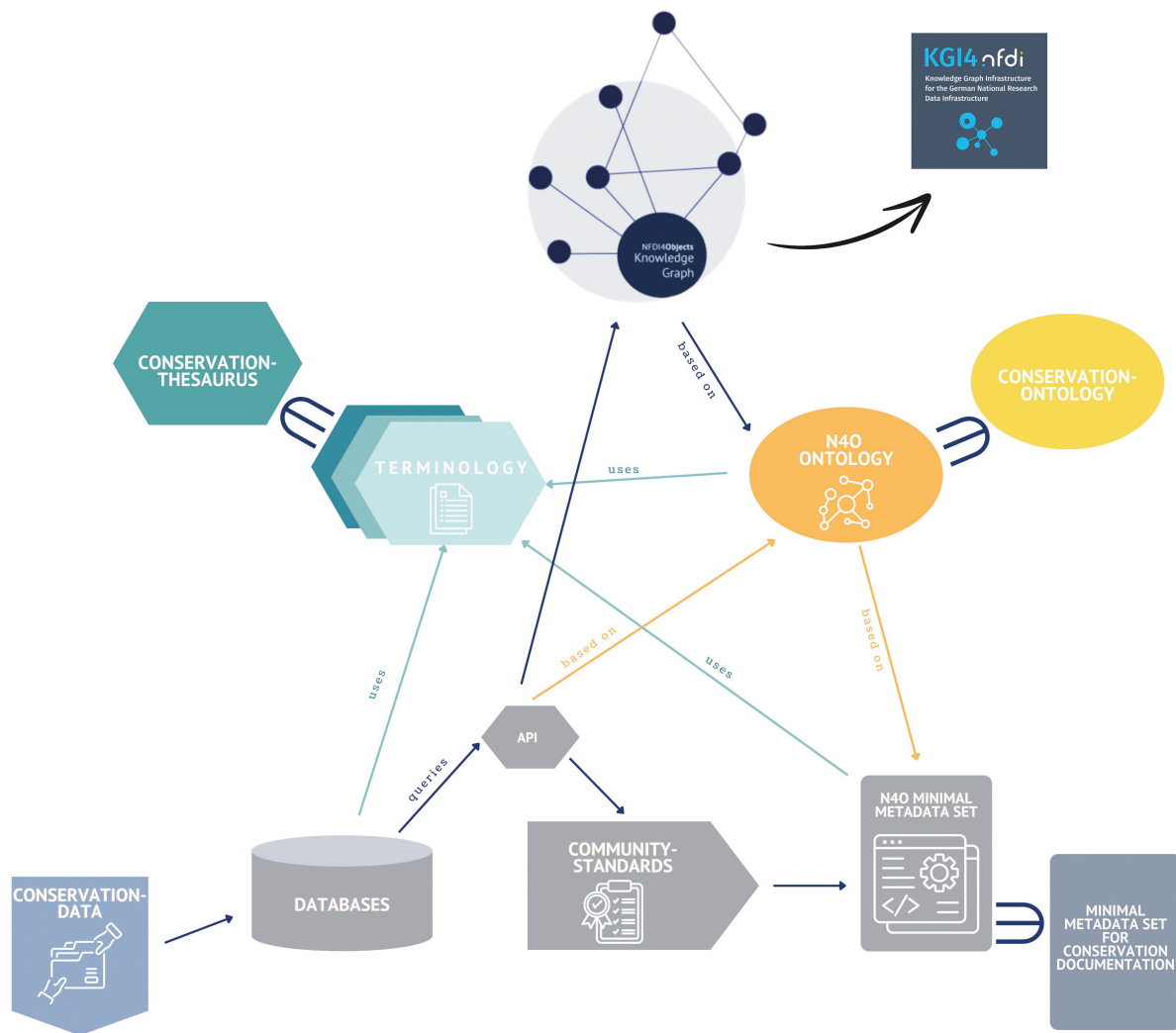


Abb. 9 Graphische Darstellung der Integration restaurierungsspezifischer Aspekte in eine semantische Infrastruktur. Kristina Fella/ LEIZA, CC BY 4.0.

Im Zuge dieses Pilotprojektes entstand demnach gleichzeitig ein maschinenlesbarer Fachthesaurus für die Konservierung und Restaurierung archäologischer Kulturgüter,¹⁴ als Wegbereiter für weitere restaurierungsspezifische FAIR Vokabulare. Nach der Entwicklung der Fachterminologien geht es um deren strategische Integration in übergreifende Wissensinfrastrukturen, wie sie bereits bei den Services der Task Area 2 „Terminologie-Ecosystem für Sammlungen“ vorgestellt wurden. Die erarbeiteten Terminologien sollen nicht isoliert bleiben, sondern zentrale Vokabularserver (DANTE), Register (BARTOC) oder Plattformen (Museumsvokabular) sowie die Linked Open Data Cloud um restaurierungsspezifische Daten bereichern und über APIs interoperabel in verschiedene Systeme integrierbar sein. Die seman-

tische Vernetzung mit anderen Vokabularen integriert die Begriffswelt der Konservierung und Restaurierung zudem in ein globales Wissensnetzwerk, wodurch das gemeinsame Verständnis und der Wissensaustausch über Disziplin- und Sprachgrenzen hinweg erleichtert wird.

Neben der Terminologieentwicklung arbeitet die Task Area 4 in Zusammenhang mit dem N4O MinimalMetadataSet (N4O MMDS) an einem Minimaldatensatz für Restaurierungsdokumentationen. Der erste und entscheidende Schritt ist hierbei der fachliche Austausch mit der Community, um inhaltlich zentrale Aspekte zu identifizieren, die für die Erfassung aller relevanten Informationen der Konservierung und Restaurierung wesentlich sind. Im Weiteren wird ebenfalls untersucht, inwieweit die spezifischen Anforderungen

der Konservierung und Restaurierung bereits in bestehenden Metadatenstandards wie zum Beispiel der Metadatenatz-Empfehlung für Museen und Sammlungen (AG MINIMALDATENSATZ ET AL., 2024) abgebildet werden und wo im Detail Ergänzungsbedarf besteht.

Ebenso wie Task Area 2 beschäftigt sich auch Task Area 4 mit Möglichkeiten der semantischen Modellierung fachspezifischen Wissens zur Förderung der interdisziplinären Verknüpfung. Durch die Entwicklung einer restaurierungsspezifischen Ontologie, als semantische Repräsentation des fachspezifischen Minimaldatensatzes, wird eine digitale Darstellung durchgeführter Konservierungs- und Restaurierungsmaßnahmen ermöglicht (FELLA, LEFELDT, MEMPEL-LÄNGER, PUHL & WITT, 2024). Eine zentrale Herausforderung dieses Vorhabens liegt jedoch in der Transformation praktischer Vorgänge in maschinenlesbare Formate. Dabei müssen nicht nur die Konservierungs- bzw. Restaurierungsmethoden, verwendete Materialien und Werkzeuge in einzelne Konzepte überführt werden, sondern auch Ansätze zur Modellierung von fachlichen Zusammenhängen zwischen dem Schadensbild eines Objektes und den durchgeführten Erhaltungsmaßnahmen gefunden werden. Ein wesentlicher Aspekt der Konservierung/Restaurierung archäologischer Objekte liegt darüber hinaus in der technologischen Auswertung ihrer Herstellungstechniken. Da es sich dabei jedoch in der Regel um interpretative Annahmen handelt, basierend auf den festgestellten Spuren am Objekt, spielt auch hier die Darstellung von Unsicherheiten und Mehrdeutigkeiten eine wesentliche Rolle. Grundlegend wird die Restaurierungsontologie auf dem Referenzmodell CIDOC CRM basieren, erweitert um Konzepte die die fachlichen Bedürfnisse abbilden.

Sowohl der entwickelte Minimaldatensatz für Restaurierungsdokumentation als auch die Restaurierungsontologie finden Anwendung als digitales „FAIRification-Tool for conservation and restoration“, welches zukünftig Restauratoren bei der standardisierten Dokumentation ihrer durchgeführten Maßnahmen und der Bereitstellung erhobener Daten gemäß der FAIR-Prinzipien unterstützt. Die weitere Gestaltung der einzelnen Funktionen dieses „FAIRification-Tools“ sollen dabei in engem Austausch mit den praktischen Bedürfnissen der Fachcommunity ausgearbeitet werden. Darüber hinaus stärkt der Eingang dieser fachspezifischen Modellierungsansätze sowohl in das N4O MinimalMetaDataSet als auch in die zentrale N4O Object Ontology (N4O OO) die Vernetzung der Konservierungs- und Restaurierungs-

wissenschaft mit anderen wissenschaftlichen Disziplinen und bildet eine fundierte Grundlage für weitere digitale Ansätze in der Konservierungs- und Restaurierungsforschung (Abb. 9).

Archäologische Denkmalpflege

Das Feld der Forschungsdaten aus den Bereichen des Denkmalschutzes und der Bodendenkmalpflege ist in Deutschland ausgesprochen heterogen. Der Schutz des kulturellen Erbes ist Aufgabe der Bundesländer, weswegen die relevanten Daten in den jeweils zuständigen Behörden sehr divers und in erster Linie auf die je eigenen Bedürfnisse ausgerichtet organisiert sind und dabei nur selten den FAIR-Prinzipien entsprechen (GÖLDNER, BIBBY & SENST, 2022, 43 f.). Gerade eine überregionale Vergleichbarkeit wird dadurch erschwert (WILBERTZ, 2013, 48). Das kann bei überregionalen Forschungsprojekten ein ernsthaftes Hindernis bedeuten. Gleichzeitig resultiert daraus ein unnötiger Verwaltungsaufwand für außerbehördliche Denkmaldienstleistende und Planungsträger.

Innerhalb des NFDI4Objects-Konsortiums ist es die Aufgabe der Task Area 4, durch konkrete Dienste die Vernetzung und den Austausch von Forschungsdaten maßgeblich zu verbessern. Dabei soll das Hauptaugenmerk auf räumlichen Daten und den zugehörigen Metadaten liegen. Dazu soll zunächst das core data set um entsprechend notwendige fachspezifische Felder ergänzt werden, die in enger Zusammenarbeit mit der Fachcommunity¹⁵ und unter Berücksichtigung bestehender Standards wie ADeX (GÖLDNER ET AL., 2013) ausgestaltet werden. Dazu wird mit Unterstützung der Task Area 5 die Möglichkeit geboten, die in den unterschiedlichen Fachdatensystemen verwendeten Vokabulare im DANTE-cocoda Ecosystem auf den Minimaldatensatz für archäologische Denkmalpflege zu mappen. Dadurch kann der Standard wie eine übersetzende Schnittstelle in heterogene Systeme werden.

Ein solches Mapping von Fachvokabularen kann zum Beispiel auch dafür genutzt werden, für den Bereich „Schutzgebiete“ eine bundeslandübergreifende Vergleichbarmachung der Rechtsfolgen anzubieten, die sich aus den Schutzwirkungen der jeweiligen Landesgesetze ergeben. In Kombination mit der oben genannten Schnittstelle können zukünftig bei großflächigen Planungsverfahren wesentlich leichter länderübergreifende Datensätze zur Bodendenkmalpflege angeboten werden. Diese Standardisierung leistet damit einen Beitrag zur Bewahrung des schützenswerten Kulturerbes.

Ein Dienst der Task Area 4 soll außerdem zur Vereinheitlichung der Daten führen, die entstehen,

wenn BürgerInnen zufällig auf Relikte der Vergangenheit stoßen oder mit einer Nachforschungsgenehmigung aktiv nach diesen suchen und ihre Beobachtungen an die jeweils zuständige Behörde melden. Hier soll eine Standardisierung des Datenmodells und eine nutzerfertige Applikation für Mobilgeräte zu einer Verringerung des Verwaltungsaufwands seitens der Behörden führen und gleichzeitig die gesellschaftliche Teilhabe an der Erforschung der Vergangenheit erleichtern.¹⁶

Zusammengenommen werden die standardisierten Schnittstellen, die verknüpfenden Mappings und die angebotenen Softwarelösungen auch zur Grundlage von INSPIRE- und OGC-konformen WMS/WFS-Geodatendiensten werden. Mit diesen können datenhaltende Stellen aus ganz Deutschland bei ihnen vorliegende Denkmaldaten, aber auch Daten zu Maßnahmen an Denkmälern, zu Schutzflächen und zu Citizen Science-Aktivitäten an Denkmälern standardbasiert teilen.¹⁷ Anwender mit entsprechender Berechtigung können diese Daten in ihre eigenen Systeme einbinden und tagesaktuell nutzen. Damit wird der FAIRe Zugang zu Forschungsdaten für alle Interessierte maßgeblich erleichtert werden.¹⁸ Dabei werden die Datenhalter ganz klar die Hoheit über Ihre Daten behalten und über hierarchisierte Zugriffslevels selbst entscheiden können, welche Datensätze sie mit wem austauschen.

Zusammenfassung, Diskussion und Ausblick

Die im Rahmen von NFDI4Objects entwickelten Konzepte, Services und digitalen Tools der Task Areas TA2 „Collecting“ und TA4 „Protecting“ leisten einen zentralen Beitrag zur digitalen Erfassung, Vernetzung und Sicherung materieller Kulturgüter aus über 2,6 Millionen Jahren Menschheits- und Umweltgeschichte. Mit innovativen Werkzeugen wie dem Provenienzgazetteer, dem Academic Meta Tool, re3dragon sowie standardisierten Methoden für konservatorische und restauratorische Dokumentationen werden sowohl die wissenschaftliche Erforschung als auch die Archivierung gefördert. Gleichzeitig setzen diese Ansätze neue Maßstäbe bei der Anwendung der FAIR-Prinzipien. Insbesondere die Nutzung von Wikibase, semantischen Modellierungen und Linked Open Data (LOD) zeigt enorme Potenziale für die Interoperabilität und Nachhaltigkeit wissenschaftlicher Daten. Für eine langfristige Wirkung der erzielten Fortschritte bedarf es jedoch einer kritischen Auseinandersetzung mit zukünftigen Herausforderungen.

Die Nachhaltigkeit der entwickelten Infrastrukturen und Services stellt eine der zentralen Herausforderungen dar, da die Förderung von NFDI4Objects derzeit nur bis 2028 gesichert ist. Um sicherzustellen, dass Tools wie der Provenienzgazetteer, archaeology.link und Services wie das Academic Meta Tool langfristig verfügbar bleiben, müssen tragfähige Modelle für ihre Weiterführung entwickelt werden. Optionen wie die Überführung in dauerhafte Institutionen, die Einbindung internationaler Partner oder die Nutzung von Open-Source-Communities sollten intensiv geprüft werden. Gleichzeitig erfordert die Arbeit mit der Community klare Leitlinien und Good Practices, um die Balance zwischen Offenheit und Qualitätssicherung zu gewährleisten. Die enge Zusammenarbeit mit anderen NFDI-Konsortien wie etwa NFDI4Memory oder NFDI4Culture könnte darüber hinaus Synergien schaffen und die Nutzung der Tools in unterschiedlichen Domänen fördern. Ein weiterer Diskussionspunkt ist die technologische Weiterentwicklung. Die Integration neuer Technologien, beispielsweise im Bereich maschinellen Lernens für semantische Modellierungen oder die Handhabung von Unsicherheiten („fuzzyness“), ist entscheidend, um die Relevanz der entwickelten Lösungen langfristig zu sichern. Dabei muss eine Balance zwischen Innovation und Stabilität bestehender Infrastrukturen gefunden werden. Gleichzeitig ist die Internationalisierung und stärkere Einbindung in globale Initiativen wie Europeana oder das Semantic Web entscheidend, um die Sichtbarkeit und Nutzbarkeit der Daten zu erhöhen.

Die entwickelten Tools und Konzepte weiterzuentwickeln und ihre Anwendung in den Fachgemeinschaften nachhaltig zu fördern, bleibt auch zukünftig von größter Relevanz. Dabei gilt es, sowohl die Anpassung an technologische Neuerungen als auch die langfristige Verfügbarkeit der generierten Daten sicherzustellen. Die Förderung des interdisziplinären Austauschs und die Integration von Open-Science-Praktiken eröffnen zusätzliche Möglichkeiten für Innovation und Kooperation. Mit diesen Maßnahmen kann NFDI4Objects auch über 2028 hinaus einen nachhaltigen Beitrag zur Erforschung und Bewahrung des materiellen Kulturerbes leisten.

Anmerkungen

¹ Beispiel Playground auch unter <https://leiza-rse.github.io/amt-playground/>.

² siehe <https://tools.leiza.de/re3dragon/>.

³ siehe <https://archaeology.link/>.

⁴ Q-identifizier Prefix: <<https://n4o-prov.wikibase.cloud/entity/>>.

⁵ <https://www.nfdi4objects.net/portal/services/dante/>.

⁶ <https://coli-conc.gbv.de/cocoda/>.

⁷ <https://bartoc.org/about>.

⁸ <http://www.museumsvokabular.de/>.

⁹ <https://base4nfdi.de/projects/ts4nfdi>.

¹⁰ siehe <https://tinyurl.com/27vxj99y>.

¹¹ siehe <https://tinyurl.com/2ylgemjf>.

¹² siehe <https://tinyurl.com/28akycdd>.

¹³ siehe <https://tinyurl.com/27buupzj>.

¹⁴ <https://www.nfdi4objects.net/portal/services/leiza-konservierungs-und-restaurierungsfachthesaurus-f%C3%BCr-arch%C3%A4ologische-kultur%C3%BCr/>.

¹⁵ Zu diesem Zweck befindet sich ein Community Cluster „Protected Heritage Sites“ in Gründung.

¹⁶ <https://www.nfdi4objects.net/portal/services/fundlogbuch/>.

¹⁷ <https://www.nfdi4objects.net/portal/services/schnittstellen-zum-austausch-von-denkmal-und-restaurierungsbezogenen-daten/>.

¹⁸ <https://www.nfdi4objects.net/portal/services/inspire-konformer-geodatendienst/>.

Literatur

AG Minimaldatensatz, Marchini, C., Städtler, D., Greisinger, S., Böhm, E., Bernhard, A.-M., ... Winkler, A. (17.5.2024). Minimaldatensatz-Empfehlung für Museen und Sammlungen (v1.0). ZENODO, 17.5.2024: <https://doi.org/10.5281/zenodo.11209289>.

Baars, S., Berthold, A., & Thiery, F. (2024). Task Area 2: FDM-Services im Sammlungskontext. *Squirrel Papers*, 6(4), #12. <https://doi.org/10.5281/zenodo.13734484>.

Berners-Lee, T. (2006, July 27). *Linked Data – Design Issues*. <https://www.w3.org/DesignIssues/LinkedData.html> [30.3.2024].

Bibby, D., Bruhn, K.-C., Busch, A., Dührkohp, F., Thiery, F., & et al. (2023). *NFDI4Objects – Proposal*. *NFDI4Objects Zenodo Community*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10409227>.

Dextre Clarke, S. G., & Zeng, M. L. (2012). From ISO 2788 to ISO 25964: The evolution of thesaurus standards towards interoperability and data modeling. *Information Standards Quarterly*, 20: (4:1): <https://doi.org/10.3789/isqv24n1.2012.04>.

Fella, K., Lefeldt, J., Mempel-Länger, L., Puhl, A., & Witt, N. (2024). *Community-Standards für kontrollierte*

Vokabulare und Austauschformate im Bereich der Erhaltung und Pflege des kulturellen Erbes. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14135529>.

Göldner, R., Bibby, D., & Senst, H. (2022). Archivierung digitaler archäologischer Daten. Auswertung einer Umfrage. *Forum for Digital Archaeology and Infrastructure*, 1. Faszikel, §1-112, 28–51. <https://doi.org/10.34780/edw6-f6ea>.

Göldner, R., Himmelmann, U., Poelmann, T., Posluschny, A., Richter, T., Schlapke, M., ... Wilbertz, O. M. (2013). ADEX® Version 2.0 – Standard für den Austausch archäologischer Fachdaten. *Arbeitshefte zur Denkmalpflege in Niedersachsen: Archäologie und Informationssysteme: Vom Umgang mit archäologischen Fachdaten in Denkmalpflege und Forschung*, 42, 10-27. <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:16-diglit-511558>.

Harpring, P. (2010). *Introduction to controlled vocabularies: Terminology for art, architecture, and other cultural works* (1st ed). Los Angeles: Getty Research Institute.

Hartley, B. R. (1977). Some wandering potters. In J. P. Gillam, J. Dore, & K. Greene (eds), *Roman pottery studies in Britain and beyond: Papers presented to John Gillam, July 1977* (pp. 251–262). Oxford: British Archaeological Reports.

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 International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-98192-5_60.

Himmelmann, U., Schwab, R., Metz, S., Krensch, T., Thiery, F., Lefeldt, J., ... Fella, K. (2024). *Forschungsdatenmanagement im Bereich Denkmalpflege, Archäologie und Restaurierung*. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.10978098>.

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* (pp. 226–230). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-11955-7_24.

Schenk, F., Hambach, U., Britz, S., Veres, D., & Sirocko, F. (2024). 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., & 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>.

Seelbach, D. (2023). *Der Herrscher im Massenmedium: Fränkische Bildpolitik auf Münzen und Siegeln im Kulturvergleich*. Berlin: de Gruyter. <https://doi.org/10.1515/9783111341682>.

Thiery, F. (2022). SPARQLing 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., & Homburg, T. (2019). *SPARQLing Unicorn QGIS Plugin*. *Squirrel Papers*, 1(1), #5. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10779466>.

Thiery, F., & Mees, A. (2023a). Sharing (Linked) Open Data with domain-specific data-driven community hubs on the example of the German National Research Data Infrastructure (NFDI) consortium NFDI4Objects and the data hub archaeology.link. *Squirrel Papers*, 5(5), #4. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10260778>.

Thiery, F., & Mees, A. (2023b). Taming Ambiguity – Dealing with doubts in archaeological datasets using LOD. *Proceedings of the Computer Applications and Quantitative Methods in Archeology, CAA 2018: Human History and Digital Future*(2018). <https://doi.org/10.15496/PUBLIKATION-87762>.

Thiery, F., & Mees, A. W. (2024). Re3dragon – A Research Registry Resource API for Data Dragons. *GROMA: Documenting Archaeology*, 7. <https://doi.org/10.32028/Groma-Issue-7-2022-2429>.

Thiery, F., Mees, A. W., Tolle, K., & Wigg-Wolf, D. G. (2022). How to handle vagueness and uncertainty in graph-based LOD knowledge modelling? Dealing with archaeological numismatic and ceramological real world data. *Squirrel Papers*, 4(1), #2. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7184523>.

Thiery, F., Mees, A. W., Weisser, B., Schäfer, F. 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., Rossenova, L. & Simons, O. (2024). Wikibase instances in the Cultural Heritage Domain: Examples from the German humanities NFDI consortia. *Squirrel Papers*, 6(4), #22. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14055698>.

Thiery, F. & Schenk, F. (2023). Modelling of Uncertainty in Geo Sciences Sites. *Squirrel Papers*, 5(1) (1), #4. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10255259>.

Unold, M., Thiery, F. & Mees, A. (2019). Academic Meta Tool. Ein Web-Tool zur Modellierung von Vagheit. *ZfdG - Zeitschrift Für Digitale Geisteswissenschaften* (Sonderband 4). https://doi.org/10.17175/SB004_004.

Wilbertz, O. M. (2013). Datenaustausch und Datenabgabe. *Arbeitshefte zur Denkmalpflege in Niedersachsen: Archäologie und Informationssysteme: Vom Umgang mit archäologischen Fachdaten in Denkmalpflege und Forschung*, 42, 60-61. <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:16-diglit-511558>.

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.

World Wide Web Consortium. (2009, August 18). *SKOS Simple Knowledge Organization System Primer*. Retrieved 29 November 2024, from <https://www.w3.org/TR/2009/NOTE-skos-primer-20090818/>.

Danksagung

Die Autor:innen richten einen großen Dank an die NFDI4Objects Community sowie insbesondere den Mitarbeitenden aus TA2 und TA4: Stefanie Baars, Angela Berthold, Christoph Klose, Johanne Lefeldt und Nathaly Witt. Ein weiterer Dank ergeht an die Co-Sprecher Dr. Ulrich Himmelmann und Prof. Dr. Roland Schwab von Task Area 4, sowie an Stefanie Metz, Tobias Krenschner und Dr. Allard Mees.

Über die Autoren

FLORIAN THIERY ist studierter Geodät und Geoinformatiker (M.Sc. 2013, FH Mainz) und zurzeit Research Software Engineer in Task Area 2 Collecting des NFDI4Objects Konsortiums. Florian hat mehr als 10 Jahre Erfahrung im Bereich semantische Modellierung, LOD und RSE im Bereich der Archäoinformatik und Digital Humanities.

KRISTINA FELLA ist staatl. geprüfte Goldschmiedin (2017, ZA Hanau) und studierte Restauratorin für archäologische Kulturgüter (B.A. 2021, JGU Mainz). Zurzeit ist sie neben ihrer Hauptbeschäftigung als Restauratorin am Leibniz-Zentrum für Archäologie (LEIZA) zusätzlich als wissenschaftliche Mitarbeiterin in Task Area 4 Protecting des NFDI4Objects Konsortiums tätig. Durch ihre

praktischen Erfahrungen als Restauratorin am LEIZA fungiert Kristina als fachliche Schnittstelle zwischen den Bedürfnissen der Konservierungs- und Restaurierungswissenschaft und den technischen Infrastrukturen zur Verbesserung des Forschungsdatenmanagements.

LASSE MEMPEL-LÄNGER ist nach einem Studium der Alten Geschichte und Archäologie (B. A. 2020, Uni Trier) über die Digital Humanities althistorischen Fragestellungen quantitativ nachgegangen (M.Sc. 2024, Uni Trier). Als Research Software Engineer der Task Area 4 entwickelt er ein Knowledge Management FAIRification Tool für die Konservierungs- und Restaurierungscommunity.

ANDREAS PUHL ist Archäologe (M.A. 2019, JGU Mainz) und arbeitet zur Zeit in der Generaldirektion Kulturelles Erbe Rheinland-Pfalz als Research Data Manager für die Task Area 4. In dieser Funktion arbeitet er an der Standardisierung der Daten, die in Themengebieten der archäologischen Denkmalpflege, -schutz und -management entstehen, insbesondere im Umfeld der behördlichen Datenhaltung.

*Florian Thiery M.Sc.
Leibniz-Zentrum für Archäologie
Ludwig-Lindenschmit-Forum 1
D-55116 Mainz
florian.thiery@leiza.de*

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

*Kristina Fella B.A.
Leibniz-Zentrum für Archäologie
Ludwig-Lindenschmit-Forum 1
D-55116 Mainz
krstina.fella@leiza.de*

<https://orcid.org/0009-0005-3991-1025>

*Lasse Mempel-Länger M.Sc.
Leibniz-Zentrum für Archäologie
Ludwig-Lindenschmit-Forum 1
D-55116 Mainz
lasse.mempellaenger@leiza.de
<https://orcid.org/0009-0001-5183-1635>*

*Andreas Puhl M.A.
Generaldirektion Kulturelles Erbe Rheinland-Pfalz
Schillerstraße 44
D-55116 Mainz
andreas.puhl@gdke.rlp.de*

<https://orcid.org/0000-0002-7387-7247>

