Mathematische Forschungsdaten im FDM

MaRDMO als Brücke zwischen Wissensgraph und Forschungseinrichtungen

Marco Reidelbach, Zuse Institute Berlin
Marcus Weber, Zuse Institute Berlin

Zusammenfassung

Mathematische Modelle, Algorithmen und interdisziplinäre Workflows sind zentrale Forschungsdatentypen in der Mathematik und in allen Disziplinen, die mathematische Methoden einsetzen. Im Forschungsdatenmanagement (FDM) werden sie jedoch häufig übersehen, weil die konzeptuelle Grundlage für ihre standardisierte Beschreibung lange fehlte. Die Mathematische Forschungsdateninitiative (MaRDI) hat diese Grundlage in Form eines wachsenden Wissensgraphen geschaffen, der mathematische Modelle, Algorithmen und interdisziplinäre Workflows strukturiert dokumentiert. MaRDMO, ein Plugin für den Research Data Management Organiser (RDMO), verbindet diesen Wissensgraphen mit der FDM-Infrastruktur deutscher Forschungseinrichtungen: Über geführte Fragenkataloge können Forschende mathematische Forschungsdaten ohne Kenntnisse von SPARQL oder Ontologien dokumentieren und im Wissensgraphen suchen. Der Beitrag beschreibt das MaRDMO-Plugin, seine Einbettung in den aktuellen Stand der Entwicklung von Datenmanagementplänen und seinen Mehrwert für Forschende mit mathematischen Forschungsdaten aus allen Disziplinen sowie für diejenigen, die sie im FDM unterstützen. Darüber hinaus wird ein Ausblick auf geplante Erweiterungen gegeben, darunter KI-gestützte Dokumentationshilfen und Trainingsmaterial.

Summary

Mathematical models, algorithms, and interdisciplinary workflows are core research data types in mathematics and in all disciplines that rely on mathematical methods. However, they are often overlooked in research data management (RDM) due to the absence of a conceptual foundation for their standardised description. The Mathematical Research Data Initiative (MaRDI) has established this foundation through the development of a growing knowledge graph that documents mathematical models, algorithms, and interdisciplinary workflows in a structured way. MaRDMO, a plugin for the Research Data Management Organiser (RDMO), connects this knowledge graph with the RDM infrastructure of German research institutions. Through guided questionnaires, researchers can document mathematical research data and search the knowledge graph without any knowledge of SPARQL or ontologies. This paper provides a description of the MaRDMO plugin, its integration into current developments in data management planning, and its significance for researchers working with mathematical research data across all disciplines, as well as for those supporting them in RDM. An outlook on planned extensions is also provided, including AI-assisted documentation features and training materials.

Schlagwörter: Forschungsdatenmanagement, Wissensgraph, Mathematische Forschungsdaten, Research Data Management Organiser

Zitierfähiger Link (DOI): https://doi.org/10.5282/o-bib/6282

Autorenidentifikation: Marco Reidelbach, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1919-1834,
Marcus Weber, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3939-410X

Dieses Werk steht unter der Lizenz Creative Commons Namensnennung 4.0 International.

1. Mathematische Forschungsdaten: oft übersehen, selten dokumentiert

Wer an einer deutschen Hochschule oder Forschungseinrichtung Forschende bei der Erstellung von Datenmanagementplänen (DMP) berät, kennt die grundlegenden Fragen: Welche Daten entstehen im Projekt? In welchem Format? Wo werden sie gespeichert, und wie können sie nachgenutzt werden? Diese Fragen lassen sich im Prinzip auf jede Disziplin anwenden, auch auf die Mathematik. Das eigentliche Problem liegt eine Ebene darunter: beim Verständnis darüber, was mathematische Forschungsdaten überhaupt sind.[1]

Der Output einer numerischen Simulation, etwa eine Zeitreihe von Druckwerten oder eine Fehlerkonvergenz-Tabelle, gilt intuitiv als Forschungsdatum. Das mathematische Modell, das der Simulation zugrunde liegt und der Algorithmus, durch den sie durchgeführt wird, werden in der Regel nicht dazu gezählt. Dabei sind Modell und Algorithmus die eigentliche wissenschaftliche Substanz: Ohne sie ist der Output weder interpretierbar noch reproduzierbar. Dasselbe gilt für mathematische Beweise, also logisch lückenlose Herleitungen mathematischer Aussagen: Sie können hunderte Seiten umfassen und jahrelange Forschungsarbeit repräsentieren, wie etwa Andrew Wiles' rund 100-seitiger Beweis des *Großen Fermatschen Satzes* zeigt[2], liegen aber typischerweise nur in Textform als Publikation vor, nicht als strukturierte, maschinenlesbare Forschungsdaten.[3]

Sobald man akzeptiert, dass Modelle, Algorithmen und auch interdisziplinäre Workflows Forschungsdaten sind, lassen sich dieselben Fragen stellen wie in jeder anderen Disziplin: Wo liegen die Daten? In welchem Format? Unter welcher Lizenz? In welchem Repositorium? Wer kann sie nachnutzen und wie? Das Problem ist nicht, dass diese Fragen für die Mathematik ungeeignet wären. Es fehlt die konzeptionelle Grundlage, auf der sie sinnvoll beantwortet werden können: eine gemeinsame Sprache dafür, was ein mathematisches Modell oder ein Algorithmus ist, wie man ihn strukturiert beschreibt und wie diese Beschreibung maschinenlesbar und interoperabel gemacht werden kann.[4]

1 Dieser Beitrag bezieht sich auf den Vortrag von Marco Reidelbach mit dem Titel „Ein Service für alle: MaRDMO macht mathematische Forschungsdaten auffindbar und nutzbar“ am 19.05.2026 bei der 114. BiblioCon in Berlin.

2 Wiles, Andrew: Modular Elliptic Curves and Fermat's Last Theorem. In: Annals of Mathematics 141(3), 1995, S. 443–551. https://www.jstor.org/stable/2118559.

3 Boege, Tobias; Fritze, René; Görgen, Christiane u. a.: Research-data management planning in the German mathematical community, in: European Mathematical Society Magazine 130, 2023, S. 40-47. https://doi.org/10.4171/mag/152.

4 MaRDI Consortium: Research Data Management Planning in Mathematics v2, Zenodo, 01.08.2025. https://doi.org/10.5281/zenodo.16678203.

Genau diese Grundlage schafft die *Mathematische Forschungsdateninitiative*[5] (MaRDI), gegründet als Konsortium innerhalb der *Nationalen Forschungsdateninfrastruktur*[6] (NFDI). Im Zentrum des MaRDI-Ökosystems (vgl. Abb. 1) steht das *MaRDI-Portal*[7], eine auf *Wikibase*[8] basierende Plattform, die den MaRDI-Wissensgraphen hostet. Zwei spezialisierte Teilgraphen[9] bilden seinen Kern. Die *Mathematical Model Database*[10] (MathModDB) dokumentiert mathematische Modelle anhand ihrer Formeln, zugehörigen Quantitäten und Berechnungsaufgaben sowie der Forschungsprobleme und Fachgebiete, die sie adressieren. Die *Mathematical Algorithm Database*[11] (MathAlgoDB) tut dasselbe für Algorithmen und verknüpft sie mit algorithmischen Aufgaben, implementierender Software und Benchmarks. Für interdisziplinäre Workflows hat MaRDI standardisierte Dokumentationsvorlagen entwickelt, die den vollständigen Ablauf von der Forschungsfrage über Prozessschritte, Software und Hardware bis zu den erzeugten Datensätzen erfassen. Zum Stand Juli 2026 dokumentiert der Wissensgraph 230 mathematische Modelle, 512 Algorithmen und eine Handvoll interdisziplinärer Workflows.[12]

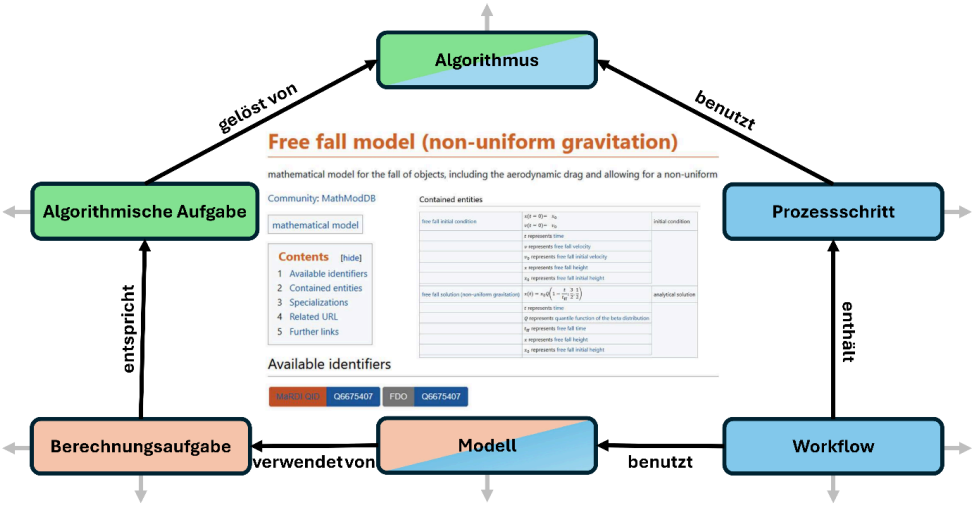


Abb. 1: *Struktur des MaRDI-Wissensgraphen: Modelle (MathModDB, rot), Algorithmen (MathAlgoDB, grün) und interdisziplinäre Workflows (blau) speisen die Wikiseiten des MaRDI-Portals (Mitte).*

5 MaRDI Consortium: MaRDI. Mathematical Research Data Initiative Proposal, Zenodo, 24.05.2022. https://doi.org/10.5281/zenodo.6552435.

6 Hartl, Nathalie; Wössner, Elena; Sure-Vetter, York: Nationale Forschungsdateninfrastruktur (NFDI), in: Informatik Spektrum 44, 2021, S. 370–373. https://doi.org/10.1007/s00287-021-01392-6.

7 MaRDI-Portal: https://portal.mardi4nfdi.de/, Stand: 08.06.2026.

8 Wikibase: https://www.mediawiki.org/wiki/Wikibase, Stand: 11.07.2026.

9 Schembera, Björn; Wübbeling, Frank; Shehu, Aurela u. a.: FAIR Representation of Mathematical Research Data. MathModDB and MathAlgoDB as Knowledge Graphs for Mathematical Models and Numerical Algorithms, Zenodo, 04.08.2025. https://doi.org/10.5281/zenodo.16735911.

10 Shehu, Aurela; Schmidt, Burkhard; Schembera, Björn u. a.: MaRDI4NFDI/MathModDB: v1.0.0, Zenodo, 18.02.2025, https://doi.org/10.5281/zenodo.14887915.

11 MaRDI Task Area 2 – Scientific Computing: MathAlgoDB, 2022, https://mathalgodb.mardi4nfdi.de/, Stand: 08.06.2026.

12 MaRDI Knowledge Graph Statistics: https://portal.mardi4nfdi.de/wiki/Project:KG_stats, Stand: 10.07.2026.

Diese Infrastruktur ist technisch leistungsfähig, aber ohne Kenntnisse von *SPARQL*, *Wikibase* und den zugrundeliegenden Ontologien bleibt die manuelle Navigation im Wissensgraphen zeitaufwendig und für die meisten Forschenden sowie Beratungspersonal im Forschungsdatenmanagement (FDM) kaum praktikabel. Das MaRDMO-Plugin schlägt genau hier die Brücke: Es bettet mathematikspezifische Fragenkataloge in den *Research Data Management Organiser*[13] (RDMO) ein, ein Werkzeug, das an deutschen Hochschulen und Forschungseinrichtungen bereits weit verbreitet ist und verbindet die vertraute FDM-Infrastruktur mit dem MaRDI-Ökosystem. Was das konkret bedeutet, wie es in den aktuellen Stand der Entwicklung von DMP einzuordnen ist und welchen Mehrwert es für FDM-Beratungsstellen bietet, beschreibt dieser Beitrag.

2. Datenmanagementpläne und Wissensgraphen: Stand der Entwicklung

DMP haben sich in den letzten Jahren grundlegend gewandelt. Lange als statische Textdokumente konzipiert, die als Pflichtabgaben im Rahmen von Förderprojekten eingereicht und anschließend kaum weitergenutzt wurden, steht heute ein anderes Leitbild im Vordergrund, der machine-actionable DMP (maDMP). Miksa et al. formulierten 2019 zehn Prinzipien für maDMP.[14] Demnach sollten DMP lebende, maschinenlesbare und mit anderen Forschungsoutputs verlinkbare Dokumente sein, kein bürokratischer Zusatzaufwand, sondern ein integraler Bestandteil des Forschungsprozesses. Die *DMP Common Standard Working Group* der *Research Data Alliance* legte dafür ein interoperables Datenmodell vor,[15] das inzwischen als De-facto-Standard für den Austausch von maDMP gilt.

Was bislang fehlt, ist die Verbindung von DMP mit Wissensgraphen. *Open Science Graphs* (OSGs) sind wissenschaftliche Wissensgraphen, die Entitäten des Forschungslebenszyklus wie Projekte, Personen, Forschungsergebnisse und Institutionen miteinander verknüpfen. Sie bieten genau die Infrastruktur, in die DMP eingebettet werden können. Der MaRDI-Wissensgraph ist ein solcher thematischer OSG, spezialisiert auf mathematische Forschungsdaten. Papadopoulou et al. beschrieben 2023 erstmals, wie maDMP als Entitäten in einen solchen Wissensgraphen integriert werden können. Das *ARGOS-Tool* exportiert maDMP in den *OpenAIRE Research Graph*[16], verknüpft sie mit Projekten, Datensätzen und Fördergebern und macht sie damit als FAIR-Outputs (Findable, Accessible, Interoperable, Reusable)[17] sichtbar und nachnutzbar.[18] DMP werden so nicht länger als Begleitdokumente behandelt, sondern als eigenständige Entitäten im Forschungslebenszyklus.

13 Anders, Ivonne; Enke, Harry; Hausen, Daniela A. u. a.: The Research Data Management Organiser (RDMO). A Strong Community Behind an Established Software for DMPs and Much More, in: Data Science Journal 23, 2024. https://doi.org/10.5334/dsj-2024-028.

14 Miksa, Tomasz; Simms, Stephanie; Mietchen, Daniel u. a.: Ten principles for machine-actionable data management plans, in: PLOS Computational Biology 15(3), 2019. https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1006750.

15 Miksa, Tomasz; Walk, Paul; Neish, Peter: RDA DMP Common Standard for Machine-actionable Data Management Plans, Zenodo, 16.09.2020. https://doi.org/10.15497/rda00039.

16 OpenAIRE Research Graph: https://graph.openaire.eu/, Stand: 08.06.2026.

17 Wilkinson, Mark D.; Dumontier, Michel; Aalbersberg, IJsbrand J. u. a.: The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship, in: Scientific Data 3, 2016. https://doi.org/10.1038/sdata.2016.18.

18 Papadopoulou, Elli; Bardi, Alessia; Kakaletris, George u. a.: Data management plans as linked open data. Exploiting ARGOS FAIR and machine actionable outputs in the OpenAIRE research graph, in: Journal of Biomedical Semantics 14, 2023. https://doi.org/10.1186/s13326-023-00297-5.

Im deutschen NFDI-Kontext verfolgt DMP4NFDI einen ähnlichen Ansatz. Als NFDI-weiter Basisdienst zielt DMP4NFDI darauf ab, fachspezifische, maschinenlesbare DMP-Fragenkataloge zu entwickeln, Services mit RDMO zu integrieren und konsortienübergreifende Interoperabilität sicherzustellen.[19] Die konzeptionelle Grundlage dafür beschreibt ein gemeinsames Visionspapier der beteiligten Konsortien.[20] Die Arbeitsgruppe *Data Management Planning* der NFDI Sektion *Common Infrastructures* erarbeitete zudem Qualitätskriterien für DMP-Fragenkataloge[21] sowie ein Rahmenwerk zur Evaluation von DMP entlang des Projektlebenszyklus, das auch KI-gestützte Bewertungsverfahren einschließt.[22] Zahlreiche Konsortien entwickeln aktuell im Rahmen von Inkubator-Projekten disziplinspezifische RDMO-Fragenkataloge, für Katalyse, Mikrobiologie, Festkörperphysik und weitere Fachgebiete.[23] Das Ziel ist dabei stets dasselbe: DMP sollen nicht isolierte Textdokumente bleiben, sondern mit den Forschungsdaten und -services der jeweiligen Disziplin verknüpft sein.

MaRDMO verfolgt einen anderen Ansatz. Indem es die in Abschnitt 1 angesprochene konzeptuelle Grundlage, also gemeinsame Ontologien und standardisierte Beschreibungen mathematischer Forschungsdaten, in eine vertraute FDM-Oberfläche einbettet, ermöglicht es Forschenden deren strukturierte Dokumentation und direkten Export in den MaRDI-Wissensgraphen. Dass diese Einträge nun existieren, macht wiederum den entscheidenden Schritt möglich: Der im Juli 2026 veröffentlichte mathematikspezifische DMP-Fragenkatalog,[24] entwickelt im Rahmen eines Inkubator-Projekts mit DMP4NFDI,[25] verknüpft DMP direkt mit diesen Forschungsdaten aus dem MaRDI-Portal. Statt Freitextbeschreibungen enthält der DMP dann persistente Identifier auf strukturierte Einträge im Wissensgraphen. Damit lassen sich drei Ebenen klar auseinanderhalten. MaRDMO dokumentiert die mathematischen Forschungsdaten selbst. Der DMP-Fragenkatalog verknüpft einen DMP mit diesen bereits dokumentierten Daten. Gemeinsam leisten beide Komponenten einen konkreten Beitrag zur übergeordneten maDMP-Vision.

3. MaRDMO: Brücke zwischen Wissensgraph und FDM-Infrastruktur

3.1 Einbettung in RDMO

MaRDMO ist als Plugin für RDMO konzipiert und kann in jede bestehende RDMO-Instanz integriert werden. Da RDMO an zahlreichen deutschen Hochschulen und Forschungseinrichtungen bereits im Einsatz ist,[26] bedeutet das für FDM-Beratungsstellen, dass weder neue Infrastruktur aufgebaut noch

19 Diederichs, Katja; Förstner, Konrad; Hausen, Daniela u. a.: DMP4NFDI. NFDI Basic Service for Data Management Plans, Zenodo, 29.08.2024. https://doi.org/10.5281/zenodo.13445355.

20 Diederichs, Katja; Krause, Celia; Lemaire, Marina u. a.: A Vision for Data Management Plans in the NFDI, Zenodo, 26.01.2024. https://doi.org/10.5281/zenodo.10570654.

21 Krause, Celia; Bergmann, Katharina; Hausen, Daniela A. u. a.: Quality Criteria for DMP Templates, Zenodo, 20.08.2024. https://doi.org/10.5281/zenodo.13347687.

22 Mansour, Ahmed E.; Demerdash, Yasmin; Zhou, Xiao-Ran u. a.: DMP Evaluation Criteria. Focus on project-lifecycle, research discipline and AI-assisted evaluations, Zenodo, 17.04.2026. https://doi.org/10.5281/zenodo.19630859.

23 DMP4NFDI Incubator Projects: https://dmp.services.base4nfdi.de/incubator/, Stand: 08.06.2026.

24 Schönau, Sabine; Reidelbach, Marco: MaRDI4NFDI DMP Template, Zenodo, 17.07.2026. https://doi.org/10.5281/zenodo.21416421.

25 DMP4NFDI Incubator Projects: https://dmp.services.base4nfdi.de/incubator/, Stand: 08.06.2026.

26 RDMO: https://rdmorganiser.github.io/, Stand: 11.07.2026.

neue Werkzeuge eingeführt werden müssen. Das Plugin[27] und die zugehörigen Fragenkataloge[28] sind als Open-Source-Software frei verfügbar. Für Einrichtungen ohne eigene RDMO-Instanz betreibt MaRDI zudem eine dedizierte RDMO-Instanz[29], die über die NFDI-weite Authentifizierungsinfrastruktur (NFDI-AAI) mit institutionellem Login oder ORCID zugänglich ist und über DMP4NFDI als NFDI-Basisdienst gehostet wird.

3.2 Geführte Fragenkataloge und Nachnutzung vorhandener Einträge

MaRDMO unterstützt die Dokumentation von drei Typen mathematischer Forschungsdaten, die in Abschnitt 1 eingeführt wurden: mathematische Modelle, Algorithmen und interdisziplinäre Workflows. Für jeden Typ steht ein eigener Fragenkatalog bereit, der auf der jeweiligen Ontologie basiert.

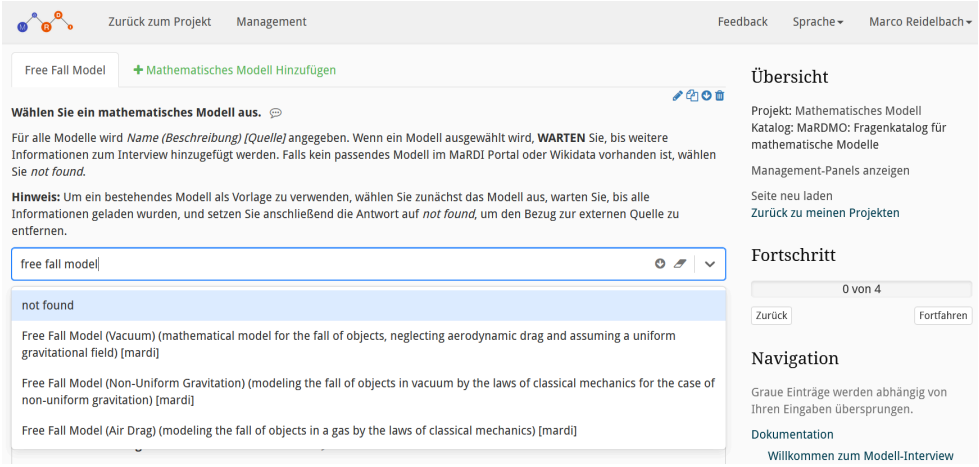


Abb. 2: *MaRDMO-Fragenkatalog: Bei Eingabe eines Modellnamens schlägt das System passende Einträge aus MaRDI-Wissensgraph und Wikidata zur Nachnutzung vor.*

Allen drei Fragenkatalogen liegt ein gemeinsames Interaktionsmuster zugrunde. Für jede zu dokumentierende Entität suchen Forschende zunächst in den verbundenen Wissensgraphen nach einem bereits vorhandenen Eintrag (vgl. Abb. 2). Wird ein passender Eintrag gefunden, ruft MaRDMO dessen Metadaten automatisch ab und befüllt die entsprechenden Felder vor. Existiert kein passender Eintrag, werden die Informationen manuell erfasst und als neuer Eintrag angelegt. Dieser Ansatz der vorrangigen Nachnutzung reduziert Redundanzen und baut aktiv auf dem bestehenden Wissensbestand auf. Ein automatisches Abrufsystem stellt darüber hinaus sicher, dass die Auswahl eines Eintrags alle nachgelagerten verknüpften Entitäten automatisch mitlädt, sodass die manuelle Eingabe auf das tatsächlich Neue reduziert wird. Publikationen können über externe Schnittstellen mit allen dokumentierten

27 Reidelbach, Marco; Mietchen, Daniel; Wallace, David: MaRDI4NFDI/MaRDMO-Plugin. MaRDMO v.0.6.0, Zenodo, 18.05.2026. https://doi.org/10.5281/zenodo.20276271.

28 Reidelbach, Marco; Shehu, Aurela: MaRDI4NFDI/MaRDMO-Questionnaire. MaRDMO Questionnaire v.2.3.0, Zenodo, 18.05.2026. https://doi.org/10.5281/zenodo.20276180.

29 MaRDI-RDMO-Instanz: https://rdmo.mardi4nfdi.de/, Stand: 08.06.2026.

Eintragstypen verknüpft werden, darunter etablierte Quellen wie Crossref und DataCite sowie das mathematikspezifische Literaturverzeichnis zbMath[30].

Für Forschende, die ein mathematisches Modell zum ersten Mal dokumentieren, steht ein vereinfachter *Basic Model Catalog* zur Verfügung. Er reduziert die Eingabe auf die wesentlichen strukturellen Informationen: das Modell selbst mit seinen Eigenschaften, das adressierte Forschungsproblem und die Berechnungsaufgaben, für die es eingesetzt wird. Formeln können als Platzhaltereinträge verknüpft werden, etwa durch Angabe von DOI und Gleichungsnummer, ohne dass die vollständige Darstellung mit allen Quantitäten und Quantitätsarten erforderlich ist. Sobald eine detailliertere Dokumentation gewünscht wird, kann der *Complete Model Catalog* genutzt werden, um den Eintrag um die fehlenden Details zu ergänzen.

3.3 Suche im MaRDI-Wissensgraphen ohne *SPARQL*

Neben der Dokumentation bietet MaRDMO einen Fragenkatalog zur reinen Suche an, mit dem der MaRDI-Wissensgraph abgefragt werden kann, ohne dass eine manuelle Navigation im Wissensgraphen oder *SPARQL*-Kenntnisse erforderlich sind. Suchkriterien werden über die gewohnte RDMO-Oberfläche eingegeben. MaRDMO übersetzt sie intern in *SPARQL*-Abfragen, führt sie gegen den MaRDI-Wissensgraphen aus und präsentiert die Ergebnisse mit direkten Links zu den Einträgen im MaRDI-Portal. Die generierten Abfragen werden dabei angezeigt, was auch einen Lerneffekt ermöglicht.

Forschende können so nach mathematischen Modellen suchen, die ein bestimmtes Forschungsproblem adressieren oder von einer bestimmten Berechnungsaufgabe verwendet werden, nach Algorithmen für einen gegebenen Aufgabentyp oder eine bestimmte implementierende Software, sowie nach interdisziplinären Workflows, die mit definierten Algorithmen, Software oder Forschungszielen arbeiten.

3.4 Export und Qualitätssicherung

Nach Abschluss der Dokumentation führt MaRDMO eine Validierungsprüfung durch, die Vollständigkeit, Konsistenz und Wikibase-Konformität sicherstellt. Eine strukturierte Vorschau fasst alle dokumentierten Informationen zusammen, bevor Forschende den Export in das MaRDI-Portal per Knopfdruck auslösen. Der Export erfolgt über die REST-API des Portals mit OAuth2-Authentifizierung über institutionelle Zugangsdaten, sodass neu erstellte Einträge den beitragenden Personen zugeschrieben werden. Eine abschließende inhaltliche Qualitätssicherung erfolgt derzeit durch die Mitarbeitenden der jeweils verantwortlichen Task Areas von MaRDI, die neu erstellte Portal-Einträge händisch kuratieren. Inkonsistenzen können zudem jederzeit über das MaRDI-Portal gemeldet werden. In der zweiten Förderphase von MaRDI, ab Oktober 2026, sollen semi-automatisierte und standardisierte Editorial- und Kurationsprozesse entwickelt und bereitgestellt werden um die Datenqualität langfristig und skalierbar zu sichern.

30 zbMath: https://zbmath.org/, Stand: 11.07.2026.

3.5 MaRDMO in der Praxis

Das folgende Szenario illustriert beispielhaft, wie drei Forschende aus unterschiedlichen Disziplinen mathematische Forschungsdaten über MaRDMO teilen und finden können (vgl. Abb. 3).

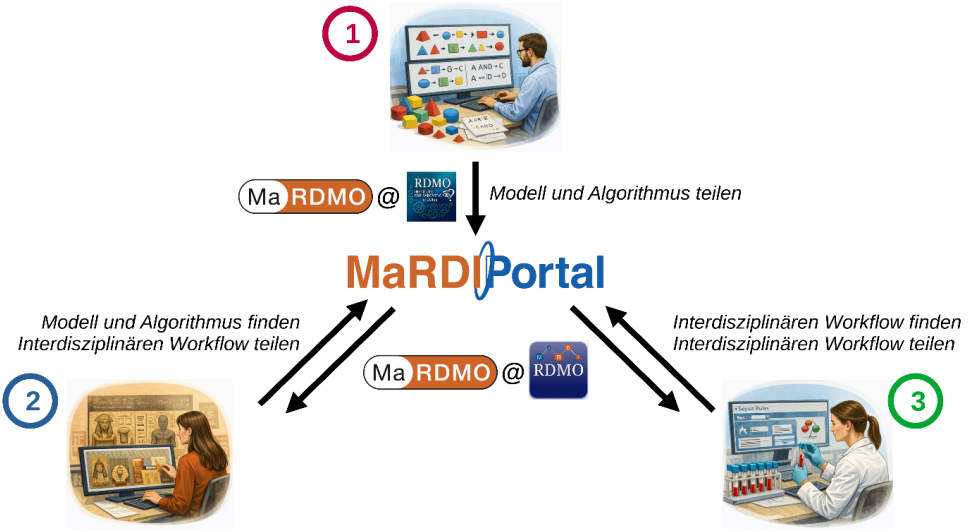


Abb. 3: *Drei Forschende dokumentieren und finden Modelle, Algorithmen und interdisziplinäre Workflows über MaRDMO und teilen sie im MaRDI-Portal. Die Illustrationen sind KI-generiert*[31].

Ein Mathematiker (1) entwickelt ein mathematisches Modell und einen Algorithmus, mit dem sich anhand boolescher Algebra logische Regeln aus einem Datensatz ableiten lassen. Da ihm kein realer Anwendungsdatensatz vorliegt, arbeitet er mit synthetischen Testdaten: Bauklötzen in verschiedenen Farben und Formen. Dennoch hält er Modell und Algorithmus für relevant und nützlich für die Community und dokumentiert beide über MaRDMO auf der RDMO-Instanz seines Instituts. Das Ergebnis ist ein strukturierter, nachnutzbarer Eintrag im MaRDI-Portal.

Eine digitale Geisteswissenschaftlerin (2) beschäftigt sich mit Ausgrabungsstücken aus der *Cachette de Karnak*[32] und der Frage, ob die Zerstörungsmuster der Objekte bestimmten Regeln folgen. Über MaRDMO auf der MaRDI-RDMO-Instanz findet sie das mathematische Modell und den Algorithmus des Mathematikers zur Ableitung logischer Regeln. Mit ihrem disziplinären Fachwissen bestimmt sie die relevanten Eigenschaften der Ausgrabungsstücke und entwickelt einen interdisziplinären Workflow, der mathematisches Modell, Algorithmus, Software und Prozessschritte zur Extraktion logischer Regeln verbindet. Diesen Workflow dokumentiert und teilt sie über MaRDMO im MaRDI-Portal mit der Community.

31 Die Illustrationen der drei Forschenden in Abbildung 3 wurden mit ChatGPT (GPT-5.5, OpenAI) am 20.05.2026 erstellt.
32 Cachette de Karnak: https://www.ifao.egnet.net/bases/cachette/ck356, Stand: 14.07.2026.

Eine Medizinerin (3), weniger vertraut mit digitalen Methoden, aber offen für unkonventionelle Ansätze, fragt sich, ob sich die Diagnose von Sepsis auf einfache logische Regeln zurückführen lässt. Über MaRDMO auf der MaRDI-RDMO-Instanz findet sie den interdisziplinären Workflow der digitalen Geisteswissenschaftlerin und kann ihn dank der strukturierten Dokumentation ohne tiefere Kenntnisse der zugrundeliegenden Methoden nachnutzen. Der Unterschied zu ihrem Anwendungsfall ist überschaubar: Statt Ausgrabungsstücken mit Eigenschaften wie fehlenden Gliedmaßen betrachtet sie Blutproben mit Stoffkonzentrationen ober- oder unterhalb bestimmter Grenzwerte. Auch sie dokumentiert ihren angepassten Workflow über MaRDMO und teilt ihn im MaRDI-Portal mit der Community.

4. MaRDMO als Werkzeug für FDM-Beratungsstellen

Mathematische Forschungsdaten entstehen nicht nur in der Mathematik. Klimamodelle in den Geowissenschaften, epidemiologische Simulationen in der Medizin, Optimierungsalgorithmen in der Wirtschaftswissenschaft, Finite-Elemente-Simulationen im Maschinenbau: In all diesen Disziplinen sind mathematische Modelle, Algorithmen und Workflows die methodische Grundlage der Forschung.[33] FDM-Beratungsstellen, die Forschende aus diesen Bereichen betreuen, stehen daher vor derselben Herausforderung wie solche, die unmittelbar mit Mathematiker*innen arbeiten. MaRDMO richtet sich an alle Forschenden, die mathematische Forschungsdaten erzeugen, nutzen oder nachnutzen, unabhängig von ihrer Disziplin.

4.1 MaRDMO in der FDM-Beratungspraxis

Für FDM-Beratungsstellen bedeutet MaRDMO konkret, dass Forschende, die bereits mit der lokalen RDMO-Instanz ihrer Einrichtung arbeiten, ohne neue Infrastruktur oder neue Werkzeuge auf MaRDMO zugreifen können. Der geführte Fragebogenansatz, die automatische Vorausfüllung bekannter Einträge und die Suche im MaRDI-Wissensgraphen machen die Dokumentation auch ohne Kenntnisse von Ontologien oder Wissensgraphen zugänglich. Das senkt die Beratungshürde erheblich und es genügt, Forschende mit dem Fragenkatalog vertraut zu machen, ohne die technische Infrastruktur dahinter erklären zu müssen.

Die MaRDI-RDMO-Instanz steht als weiterer Einstiegspunkt zur Verfügung. Neben den MaRDMO-spezifischen Fragenkatalogen bietet sie auch einen Softwaremanagementplan-Fragenkatalog[34] (SMP) sowie den mathematikspezifischen DMP-Fragenkatalog[35] an, sodass auch Forschende ohne institutionelle RDMO-Instanz alle DMP- und SMP-Aufgaben an einem Ort erledigen können.

33 MaRDI Consortium: Research Data Management Planning in Mathematics v2, Zenodo, 01.08.2025. https://doi.org/10.5281/zenodo.16678203.

34 SMP-Template: https://github.com/rdmorganiser/rdmo-catalog/blob/main/rdmorganiser/questions/questions-smp.xml, Stand: 08.06.2026.

35 Schönau, Sabine; Reidelbach, Marco: MaRDI4NFDI DMP Template, Zenodo, 17.07.2026. https://doi.org/10.5281/zenodo.21416421.

4.2 Unterstützungsangebote und Trainingsmaterialien

Um den Einstieg zu erleichtern, stehen bereits verschiedene Unterstützungsangebote bereit. Zwei YouTube-Playlists demonstrieren die Dokumentation von mathematischen Modellen[36] und Algorithmen[37] Schritt für Schritt. Ein weiteres YouTube-Video demonstriert die reine Suche[38] nach mathematischen Objekten im MaRDI-Portal über MaRDMO. Innerhalb jedes Fragenkatalogs können Forschende kontextbezogene Fragen direkt an das MaRDMO-Team senden. Eine Mailingliste[39] dient als Forum für Fragen und Diskussionen rund um die Instanz, RDMO im Allgemeinen und MaRDMO, sowie als Informationskanal für Neuigkeiten und Updates. Ein monatliches, offenes Online-Meeting bietet Forschenden und FDM-Beratungspersonal regelmäßig Gelegenheit zum Austausch.

4.3 Geplante Erweiterungen

MaRDMO macht die Dokumentation mathematischer Forschungsdaten zugänglich und senkt die technische Einstiegshürde erheblich. Dennoch bleibt die strukturierte Beschreibung komplexer mathematischer Objekte eine anspruchsvolle Aufgabe. Ein großes mathematisches Modell mit vielen Formeln, Quantitäten und Annahmen oder ein umfangreicher interdisziplinärer Workflow mit zahlreichen Prozessschritten können auch mit MaRDMO zeitintensiv zu dokumentieren sein. Der Zugangsaufwand ist deutlich gesunken, der inhaltliche Aufwand bleibt real.

Zwei KI-gestützte Entwicklungen sollen diesen inhaltlichen Aufwand weiter reduzieren. Erstens ist geplant, den RDMO-Chatbot[40], der kürzlich veröffentlicht wurde, kontextsensitiv in die MaRDI-RDMO-Instanz zu integrieren: als MathModDB-Experte beim Dokumentieren eines Modells, als MathAlgoDB-Experte beim Dokumentieren eines Algorithmus. Forschende erhalten so unmittelbare, kontextrelevante Unterstützung während des gesamten Dokumentationsprozesses. Zweitens wird ein Import-Plugin entwickelt, das eine wissenschaftliche Publikation als Eingabe akzeptiert und mithilfe eines Large Language Models die darin beschriebenen Modelle, Algorithmen oder Workflows extrahiert und auf dem entsprechenden MaRDMO-Fragenkatalog abbildet. Das Ergebnis ist eine Vorab-Dokumentation, die Forschende überprüfen, ergänzen und anpassen können. Dieser *Human-in-the-loop-Ansatz* hat das Potenzial, den Dokumentationsaufwand erheblich zu senken.

Neben diesen KI-gestützten Erweiterungen sind weitere Entwicklungen geplant. Ein Fragenkatalog für *MaRDIFlow*[41] soll die Dokumentation FAIRer rechnerischer Experimente innerhalb der vertrauten MaRDMO-Oberfläche ermöglichen. Für das MaRDI Packaging System *MaPS*[42], das reproduzierbare

36 YouTube-Playlist MaRDMO Modelle: https://www.youtube.com/playlist?list=PLgoPZ7uPWbo-jqDXzx4fSm_4JyAYEMPjn, Stand: 08.06.2026.

37 YouTube-Playlist MaRDMO Algorithmen: https://www.youtube.com/playlist?list=PLgoPZ7uPWbo-aC9pnVMYRZYM3iyg-BYWwn, Stand: 08.06.2026.

38 YouTube-Video MaRDMO Search: https://www.youtube.com/watch?v=hd3PrlPV3EA, Stand: 13.07.2026.

39 Mailingliste: mardi-rdmo@listserv.dfn.de.

40 RDMO-Chatbot Plugin: https://github.com/rdmorganiser/rdmo-plugins-chatbot, Stand: 08.06.2026.

41 Veluvali, Pavan L.; Heiland, Jan; Benner, Peter: Bridging Ontologies and Computational Workflows. A Framework for Semantic Enrichment and Reproducibility, Zenodo, 04.08.2025. https://doi.org/10.5281/zenodo.16735879.

42 Kaushik, Aaruni: Predefined Software Environment Runtimes as a Measure for Reproducibility, in: Buzzard, Kevin; Dickenstein, Alicia; Eick, Bettina u. a. (Hg.): Mathematical Software. ICMS 2024, Cham 2024 Lecture Notes in Computer Science 14749, S. 245–253. https://doi.org/10.1007/978-3-031-64529-7_26.

Softwareumgebungen durch Paketierung von Software mit ihren Abhängigkeiten adressiert, ist eine Integration durch gezielte Fragen im MaRDMO-Workflow-Fragenkatalog vorgesehen.

Ergänzend zu den technischen Erweiterungen wird MaRDMO ab August 2026 als Use Case der Integrationsphase von RDMTraining4NFDI[43] um gezieltes Trainingsmaterial ergänzt. Das Material richtet sich explizit auch an FDM-Beratungsstellen und soll als *Open Educational Resource* verfügbar gemacht werden.

5. Fazit

MaRDMO stellt eine praktische Schnittstelle zwischen Forschenden und dem MaRDI-Ökosystem bereit. Es macht die Dokumentation und Nachnutzung mathematischer Forschungsdaten ohne Spezialkenntnisse zugänglich und ist durch seine Einbettung in RDMO direkt in die FDM-Infrastruktur der Forschungseinrichtungen integrierbar. Da MaRDMO auch über DMP4NFDI auf einer NFDI-weiten Plattform betrieben wird, kann es prinzipiell direkt in die RDMO-Instanzen anderer NFDI-Konsortien ausgerollt werden. Das entspricht der Vision von *One NFDI*, dass disziplinspezifische Services nicht in einem separaten Silo bereitstehen, sondern in den disziplinären Umgebungen aller Konsortien, dort wo Forschende ohnehin ihre Datenmanagementplanung betreiben, verfügbar sind. FDM-Beratungsstellen erhalten damit ein Werkzeug, das sie in die Lage versetzt, auch Forschende mit mathematischen Forschungsdaten kompetent zu unterstützen, unabhängig davon, aus welcher Disziplin diese kommen. Der MaRDI-Wissensgraph wächst mit jeder dokumentierten Entität: Modelle, Algorithmen und interdisziplinäre Workflows werden auffindbarer, nachnutzbarer und stärker vernetzt. Diese Entwicklung entspricht auch der aktuellen Weiterentwicklung der FAIR-Prinzipien hin zu einem ganzheitlichen Verständnis von Forschungsdaten, das Daten, Software, Algorithmen und Workflows gemeinsam betrachtet und damit Transparenz, Nachvollziehbarkeit und Vertrauen in wissenschaftliche Ergebnisse stärkt.[44] FAIRes Datenmanagement für mathematische Forschungsdaten ist kein einmaliger Aufwand, sondern eine kumulative Aufgabe, und MaRDMO ist darauf ausgelegt, jeden einzelnen Beitrag so einfach wie möglich zu machen.

Danksagung

Diese Arbeit wurde im Rahmen von MaRDI unterstützt und gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) unter der Projektnummer 460135501, NFDI 29/1 ‚MaRDI – Mathematische Forschungsdateninitiative'.

Literaturverzeichnis

Anders, Ivonne; Enke, Harry; Hausen, Daniela A. u. a.: The Research Data Management Organiser (RDMO). A Strong Community Behind an Established Software for DMPs and Much More, in: Data Science Journal 23, 2024. https://doi.org/10.5334/dsj-2024-028.

43 Wohltmann, Mareike; Bock, Sina; Vandendorpe, Justine u. a.: RDMTraining4NFDI Proposal Integration Phase. Research Data Management Training for the German National Research Data Infrastructure, Zenodo, 02.02.2026. https://doi.org/10.5281/zenodo.18428575.

44 Heidt, Amanda: How FAIR Data Are Helping to Build Trust in Science, in: Nature 655, 2026, S. 270–271. https://doi.org/10.1038/d41586-026-01982-y.

Boege, Tobias; Fritze, René; Görgen, Christiane u. a.: Research-data management planning in the German mathematical community, in: European Mathematical Society Magazine 130, 2023, S. 40-47. https://doi.org/10.4171/mag/152.

Diederichs, Katja; Förstner, Konrad; Hausen, Daniela u. a.: DMP4NFDI. NFDI Basic Service for Data Management Plans, Zenodo, 29.08.2024. https://doi.org/10.5281/zenodo.13445355.

Diederichs, Katja; Krause, Celia; Lemaire, Marina u. a.: A Vision for Data Management Plans in the NFDI, Zenodo, 26.01.2024. https://doi.org/10.5281/zenodo.10570654.

Hartl, Nathalie; Wössner, Elena; Sure-Vetter, York: Nationale Forschungsdateninfrastruktur (NFDI), in: Informatik Spektrum 44, 2021, S. 370–373. https://doi.org/10.1007/s00287-021-01392-6.

Heidt, Amanda: How FAIR Data Are Helping to Build Trust in Science, in: Nature 655, 2026, S. 270–271. https://doi.org/10.1038/d41586-026-01982-y.

Kaushik, Aaruni: Predefined Software Environment Runtimes as a Measure for Reproducibility, in: Buzzard, Kevin; Dickenstein, Alicia; Eick, Bettina u. a. (Hg.): Mathematical Software. ICMS 2024, Cham 2024 Lecture Notes in Computer Science 14749, S. 245–253. https://doi.org/10.1007/978-3-031-64529-7_26.

Krause, Celia; Bergmann, Katharina; Hausen, Daniela A. u. a.: Quality Criteria for DMP Templates, Zenodo, 20.08.2024. https://doi.org/10.5281/zenodo.13347687.

Mansour, Ahmed E.; Demerdash, Yasmin; Zhou, Xiao-Ran u. a.: DMP Evaluation Criteria. Focus on project-lifecycle, research discipline and AI-assisted evaluations, Zenodo, 17.04.2026. https://doi.org/10.5281/zenodo.19630859.

MaRDI Consortium: MaRDI. Mathematical Research Data Initiative Proposal, Zenodo, 24.05.2022. https://doi.org/10.5281/zenodo.6552435.

MaRDI Consortium: Research Data Management Planning in Mathematics v2, Zenodo, 01.08.2025. https://doi.org/10.5281/zenodo.16678203.

Miksa, Tomasz; Simms, Stephanie; Mietchen, Daniel u. a.: Ten principles for machine-actionable data management plans, in: PLOS Computational Biology 15(3), 2019. https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1006750.

Miksa, Tomasz; Walk, Paul; Neish, Peter: RDA DMP Common Standard for Machine-actionable Data Management Plans, Zenodo, 16.09.2020. https://doi.org/10.15497/rda00039.

Papadopoulou, Elli; Bardi, Alessia; Kakaletris, George u. a.: Data management plans as linked open data. Exploiting ARGOS FAIR and machine actionable outputs in the OpenAIRE research graph, in: Journal of Biomedical Semantics 14, 2023. https://doi.org/10.1186/s13326-023-00297-5.

Reidelbach, Marco; Mietchen, Daniel; Wallace, David: MaRDI4NFDI/MaRDMO-Plugin. MaRDMO v.0.6.0, Zenodo, 18.05.2026. https://doi.org/10.5281/zenodo.20276271.

Reidelbach, Marco; Shehu, Aurela: MaRDI4NFDI/MaRDMO-Questionnaire. MaRDMO Questionnaire v.2.3.0, Zenodo, 18.05.2026. https://doi.org/10.5281/zenodo.20276180.

Schembera, Björn; Wübbeling, Frank; Shehu, Aurela u. a.: FAIR Representation of Mathematical Research Data. MathModDB and MathAlgoDB as Knowledge Graphs for Mathematical Models and Numerical Algorithms, Zenodo, 04.08.2025. https://doi.org/10.5281/zenodo.16735911.

Schönau, Sabine; Reidelbach, Marco: MaRDI4NFDI DMP Template, Zenodo, 17.07.2026. https://doi.org/10.5281/zenodo.21416421.

Shehu, Aurela; Schmidt, Burkhard; Schembera, Björn u. a.: MaRDI4NFDI/MathModDB: v1.0.0, Zenodo, 18.02.2025, https://doi.org/10.5281/zenodo.14887915.

Veluvali, Pavan L.; Heiland, Jan; Benner, Peter: Bridging Ontologies and Computational Workflows. A Framework for Semantic Enrichment and Reproducibility, Zenodo, 04.08.2025. https://doi.org/10.5281/zenodo.16735879.

Wiles, Andrew: Modular Elliptic Curves and Fermat's Last Theorem. In: Annals of Mathematics 141(3), 1995, S. 443–551. https://www.jstor.org/stable/2118559.

Wilkinson, Mark D.; Dumontier, Michel; Aalbersberg, IJsbrand J. u. a.: The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship, in: Scientific Data 3, 2016. https://doi.org/10.1038/sdata.2016.18.

Wohltmann, Mareike; Bock, Sina; Vandendorpe, Justine u. a.: RDMTraining4NFDI Proposal Integration Phase. Research Data Management Training for the German National Research Data Infrastructure, Zenodo, 02.02.2026. https://doi.org/10.5281/zenodo.18428575.