

Forschungsdaten fernab der Erde – ein Prototyp für die planetare Anwendung

Research Data beyond Earth – A Prototype for Planetary Usage

Andrea Naß¹, Martin Mühlbauer², Torsten Heinen², Mathias Böck², Robert Munteanu¹, Mario D’Amore¹, Torsten Riedlinger², Thomas Roatsch¹, Günter Strunz², Jörn Helbert¹

¹DLR, Institut für Planetenforschung, Berlin, Deutschland · andrea.nass@dlr.de

²DLR Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum, Oberpfaffenhofen, Deutschland

Zusammenfassung: In den Planetenwissenschaften ist die Menge der Fernerkundungsdaten und der daraus abgeleiteten Forschungsprodukte in den letzten Jahrzehnten kontinuierlich gestiegen. Die Menge und Komplexität der Daten erforderten eine immer komplexere Datenanalyse, Datenverwaltung und Datenbereitstellung für eine breitere Forschungsgemeinschaft.

In diesem Beitrag stellen wir einen Prototyp für die strukturierte Speicherung, Verwaltung und Visualisierung planetarer, raumbezogener Forschungsdaten vor, um eine transparente, langfristige und somit nachhaltige Wiederverwendung zu ermöglichen. Die Entwicklung basiert auf Technologien, die ursprünglich für erdbezogene Anwendungen entwickelt wurden.

Schlüsselwörter: Datenmanagement, Informationssysteme, Fernerkundung, Planetenforschung, Forschungsdatenmanagement

Abstract: *In planetary sciences, the amount of remote sensing data and the research products derived from it have steadily increased over the past few decades. The volume and complexity of the data have required increasingly sophisticated data analysis, data management, and data delivery to a broader research community.*

In this paper, we present a prototype for structured storage, management, and visualization of planetary spatial research data to enable transparent, long-term, and thus sustainable reuse. The development is based on technology originally developed for Earth-related applications.

Keywords: *Data management, information system, remote sensing, planetary science*

1 Einleitung

Fernerkundungsdaten machen in der Regel den größten Teil der Daten planetarer Missionen aus und umfassen optische Bilder, Multi- und Hyperspektraldaten, Radarbilder und abgeleitete Produkte wie Digitale Geländemodelle.

Für die Speicherung und Bereitstellung dieser Forschungsdaten stehen den Forschenden verschiedene Archive zur Verfügung: das *Planetary Science Archive* (PSA) (PSA, 2022; Besse et al., 2017) der Europäischen Weltraumorganisation (European Space Agency, ESA) in Europa, das *Planetary Data System* (PDS) (PDS, 2022) in den USA, das *Japan Aerospace Exploration Agency* (JAXA) Digital Archives (JAXA, 2022) in Japan oder das *Lunar and Planetary Data Release System* der *National Astronomical Observatories of China* (NAOC) (NOAC, 2022) in China, oder auch das *EMM Science Data Center* (EMM, 2022) der Raumfahrtbehörde der *Vereinigten Arabischen Emirate* (VAE).

Abgesehen von diesen Archiven und Datenzentren werden die Forschungsdaten häufig auch von Missions- und Instrumententeams und anderen Einrichtungen zur Verfügung gestellt.

Zusammengenommen werden all diese Datensätze als *primäre Forschungsdaten* bezeichnet (siehe z. B. Glass, 1976; Hox & Boeije, 2005). Eine Zusammenfassung dieser Primärdaten in den Planetaren Wissenschaften, die auch als *foundational data products* bezeichnet werden, findet sich in Laura et al. (2021).

Zusätzlich zu den Fernerkundungsdaten tragen auch Modellierungs- und Labordaten zur wachsenden Datenbasis bei. Solche Daten werden in der Regel während der Missionslaufzeit gesammelt und in Datenbanken wie der *Europlanet 2024 Distributed Planetary Laboratory Facility* (Davies et al., 2009; Europlanet, 2021) oder *Virtual European Solar and Planetary Access* (VESPA) (Erard et al., 2020) gespeichert.

Nach wissenschaftlichen Analysen, z. B. einer systematischen Oberflächenanalyse auf der Grundlage eines numerischen und visuellen Vergleichs und einer Kombination verschiedener Datensätze, wird ein großer Teil der Analyseergebnisse mittels visueller Produkte wie Abbildungen, Karten, Profile, Diagramme und Modelle dargestellt. Solche abgeleiteten wissenschaftlichen Daten und Informationen werden als *sekundäre Forschungsdaten* bezeichnet (siehe z. B. Glass, 1976; Hox & Boeije, 2005). Diese können als visuelle Beschreibung von Forschungsergebnissen verstanden werden und dienen dadurch als Grundlage für weitere zukünftige wissenschaftliche Untersuchungen. Während Forschungsergebnisse in den Publikationen selbst und die zugehörigen Primärdaten in den Archiven verfügbar sind, ist die Speicherung von sekundären Forschungsdaten meist nur dezentral und von Einzelpersonen auf lokaler institutioneller Ebene organisiert.

In den letzten Jahren wurden Diskussionen und Forderungen zur Förderung eines nachhaltigeren Forschungsdatenmanagements initiiert und kommuniziert. Dies ist nicht beschränkt auf die Planetare Forschung, sondern Gegenstand des Diskurses in allen Forschungsrichtungen. Der Fokus liegt dabei auf der Wiederverwendbarkeit und nicht zuletzt der Interoperabilität von Forschungsdaten innerhalb und zwischen verschiedenen wissenschaftlichen Disziplinen. Dies ermöglicht einen nachhaltigen Umgang mit Forschungsergebnissen und gewonnenem Wissen – nicht zuletzt, um disziplinübergreifend Forschungsergebnisse zusammenführen zu können und dadurch neuen Mehrwert generieren zu können. Vergleichbare Inhalte werden im Rahmen von Initiativen wie der *Research Data Alliance* (RDA, 2022), *GOFAIR* (2022) und *Committee on Data for Science and Technology* (CODATA, 2022) diskutiert, durch disziplinoffene Forschungsdatenrepositorien wie *figshare* (2022) und *zenodo* (CERN, 2022) realisiert und sind Inhalt strategisch-politischer Ausrichtungen auf nationaler (z. B. *nationale Forschungsdateninfrastruktur* (NFDI, 2022)) und internationaler (*European Science Cloud* (EOSC, 2022)) Ebene. All diese Bemühungen sind bestrebt, die Forschungsdaten unter Berücksichtigung der *FAIR* Prinzipien (Wilkinson et al., 2016) zu behandeln, welche besagen, dass diese *findable*, *accessible*, *interoperable* und *reusable* sein soll(t)en.

Motiviert durch die zuvor genannten Gründe ist das Ziel dieses Beitrags, eine Lösung für die strukturierte Verwaltung und Visualisierung heterogener Forschungsdaten aus der Planetenforschung aufzuzeigen, die unter Mitwirkung des Instituts für Planetenforschung (PF) und des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) erarbeitet und entwickelt wurde. Da PF an mehreren internationalen Planetenforschungsaktivitäten und -missionen beteiligt ist, produziert und verarbeitet es eine große Menge an unterschiedlichen Daten. Diese Vielfalt und Vielzahl an Daten macht es notwendig, dass ein Ansatz und eine Umsetzungsmög-

lichkeit für den nachhaltigen Umgang mit diesem institutionell erarbeiteten Forschungsdatenschatz gefunden wird. Wesentliche Voraussetzung hierbei ist, dass verschiedene Personengruppen (disziplinübergreifend) in der Lage sein sollen, Forschungsdaten über mehrere Missionen, Planetenkörper und wissenschaftliche Disziplinen hinweg zu speichern und abzufragen. Hierbei dient der Raumbezug in Kombination mit den strukturieren Metadaten als verbindendes Attribut, da der größte Teil der gewonnenen Forschungsdaten einen direkten oder indirekten Raumbezug aufweist (siehe 3.1).

Neben den inhaltlichen Voraussetzungen ist es in puncto Entwicklungsaufwand wesentlich, ressourcenschonend vorzugehen, soweit möglich auf bestehende Entwicklungen aufzusetzen und diese für den planetaren Anwendungsfall zu adaptieren. Daher liegt der Fokus in diesem Beitrag darauf, eine gemeinsame prototypische Entwicklung von PF und dem Deutschen Fernerkundungsdatenzentrum (DFD) am DLR vorzustellen. Mit seinem Hintergrund in der Softwareentwicklung beschäftigt sich das DFD mit dem Empfang, der Verwaltung, der Verarbeitung, der Bereitstellung und der Analyse von Fernerkundungsdaten (DFD, 2021). Beispielsweise ist das DFD im europäischen Erdbeobachtungsprogramm *Copernicus* eingebunden. Somit kann bestmöglich von bestehenden Open-Source-Entwicklungen innerhalb und außerhalb des DLR profitiert werden.

2 Methode

Unsere Methoden folgen einem Standardansatz zur Entwicklung von Prototypen (vgl. z. B. Royce, 1987):

1. Systemdesign: Es ist eine Bestandsaufnahme erforderlich, die sich aus einem quantitativen und qualitativen Überblick über die vorhandene Daten- und Informationsvielfalt innerhalb der Organisationseinheit, hier PF, zusammensetzt. Darüber hinaus ist eine Analyse der Nutzungs- und Systemanforderungen gefragt (vgl. ISO 2014, 2019). Diese wurde anhand informeller Interviews im Rahmen der potenziell Anwendenden durchgeführt und durch das Fachwissen und die Erfahrung der Autoren sowie durch Literaturquellen ergänzt. Letzter Bestandteil des Systemdesigns ist die Beschreibung eines konkreten Anwendungsfalls. Dieser setzt sich zusammen aus einer wissenschaftlichen Aufgabe, die mithilfe eines bestimmten Beispieldatensatzes erarbeitet wird.

2. Implementierung: Dieser Schritt gliedert sich in zwei Schritte: Zunächst muss eine Systemarchitektur erstellt werden, die sich stark an den Anforderungen aus 1. orientiert. Anschließend werden Softwareframeworks und Bibliotheken für die webbasierte Datenbereitstellung und Visualisierung ausgewählt und zu einem Informationssystem zusammengeführt.

3. Evaluierung: Diese wird direkt in der Systemumgebung durchgeführt und orientiert sich an den in 1. definierten Nutzungs- und Systemanforderungen. Die Evaluation soll nach Möglichkeit auch Empfehlungen hinsichtlich des zukünftigen Entwicklungspotenzials enthalten.

3 Ergebnisse

Unsere Ergebnisse lassen sich direkt den Schritten der Methodik zuordnen. Eine detaillierte Beschreibung findet sich in (Nass et al., 2022).

3.1 Bestandsaufnahme, Anforderungen und Anwendungsfall

3.1.1 Bestandsaufnahme

Der Großteil der FD, die bei heutigen Planetenmissionen gewonnen werden, sind Bilddaten.

Bei genauerer Betrachtung des gesamten Forschungsdatenschatzes kann festgehalten werden, dass diese (vergleichbar zu terrestrischen Daten) in drei Typen bezüglich ihrer *Räumlichkeit* unterteilt werden können (vgl. Abb. 1): **(1) direkt referenzierte Forschungsdaten**, d. h., die Daten haben einen inhärenten Raumbezug in der Dateibeschreibung (Geodatenformat) über Referenzkörper und/oder Projektion; **(2) indirekt referenzierbare Daten**, d. h. der Datensatz hat einen Bezug zu einem räumlichen Ort, hier einem planetarischen Körper, aber diese Information ist nicht in der Dateibeschreibung enthalten (z. B. Diagramme oder Messungen), und **(3) nicht referenzierte Daten**, d. h. Daten ohne Raumbezug wie Labordaten oder Programmcode.

3.1.2 Anforderungsanalyse

Um die hier präsentierten Entwicklungen so weit wie möglich an den Bedürfnissen der wissenschaftlichen Gemeinschaft auszurichten, hier Wissenschaftler:innen mit dem Hintergrund in Planetengeologie und -physik, sollte die Funktionalität des Informationssystems so gestaltet werden, dass es die folgenden Nutzungsanforderungen (UR, user requirements) erfüllt:

- **UR#1:** Das System soll verfügbare Forschungsdaten aus der Planetenforschung verwalten und visualisieren;
- **UR#2:** Das System soll eine semantische Verknüpfung zwischen verschiedenen Planetenforschungsdaten und wissenschaftlichen Publikationen ermöglichen;
- **UR#3:** Die Verfügbarkeit und Wiederverwendbarkeit der Forschungsdaten soll für zukünftige Untersuchungen ermöglicht werden;
- **UR#4:** Zu den Forschungsdaten sollen beschreibende Informationen, wie Metadaten, Zitation, Nomenklatur, Versionierung, Lizenzierung usw. bereitgestellt werden;
- **UR#5:** Abgestufte Berechtigungen für den Datenzugriff sollen ermöglicht werden;
- **UR#6:** Der Quellcode des Systems/Frameworks soll öffentlich zugänglich gemacht werden und den Open-Access-Richtlinien entsprechen;
- **UR#7:** Das System muss intuitiv und einfach zu bedienen sein, auch für Personen ohne tiefgreifende GIS-Kenntnisse;
- **UR#8:** Das System soll ein Handbuch zur Beschreibung der Anwendung enthalten.

Technische Systemanforderungen (SR, system requirements), die aus den Nutzungsanforderungen (UR) abgeleitet sind, dienen als Zielvorgabe für die prototypische Umsetzung.

- **SR#1:** Das System muss eine Speicher- und eine Visualisierungskomponente für räumliche Daten enthalten. Abgeleitet aus UR#1;
- **SR#2:** Das System muss verschiedene Arten von Abfragen ermöglichen: Räumliche koordinatenbasierte und attributive, schlüsselwortbasierte Abfragen (z. B. semantische Datenabfragen). Abgeleitet aus UR#2;
- **SR#3:** Raumbezogene Daten sollen über standardisierte Schnittstellen (z. B. WMS oder WFS) zur Verfügung gestellt werden. Abgeleitet aus UR#3;
- **SR#4:** Raumbezogene Daten müssen detaillierte Metadaten enthalten (oder mit ihnen verknüpft sein). Abgeleitet aus UR#4.

- **SR#5:** Für einen kontrollierten Nutzungszugang soll eine Login-Seite erstellt werden. Abgeleitet aus UR#5.
- **SR#6:** Das System muss vollständig auf Open-Source-Komponenten aufgebaut sein. Abgeleitet aus UR#6.
- **SR#7:** Das System muss webbasiert sein, um von der vorhandenen modernen Web-GIS-Technologie profitieren zu können. Außerdem garantiert die webbasierte Technologie die Plattformunabhängigkeit. Abgeleitet aus UR#7;
- **SR#8:** Ein kurzes Handbuch (*.pdf) wird zur Verfügung gestellt. Abgeleitet von UR#8.

3.1.3 Anwendungsfall und Beispieldaten

Bei dem hier gewählten Anwendungsfall geht es um die räumliche und attributive Suche nach Forschungsdaten zu Beginn einer wissenschaftlichen Untersuchung sowie die Finalisierung und Bereitstellung eines wissenschaftlichen Endergebnisses mit einem Raumbezug. Thematisch konzentrieren wir uns auf einen wissenschaftlichen geologischen Kartierungsansatz, dessen finale Forschungsergebnisse geologische Karten sind. Diese Wahl ist dadurch begründet, da eine geologische Karte als ein inhärent komplexes Forschungsdatenergebnis in der Planetenforschung verstanden werden kann. Das Produkt basiert zu einem hohen Maß auf räumlicher und zeitlicher Interpretation, Analysen und einer Vielzahl unterschiedlicher Eingangsdaten. Schließlich wird für die effiziente Weiterverwendung eine detaillierte Beschreibung des Forschungsergebnisses benötigt.

Der hier verwendete Beispieldatensatz konzentriert sich auf vektor- und rastermodellbasierte Daten, die durch die Beteiligung von PF an der Dawn-Mission der NASA zum Zwergplaneten Ceres entstanden sind. Dazu gehören ein globales digitales Mosaik des *High Altitude Mapping Orbiter* (HAMO) (Roatsch et al., 2016), ein globales Digitales Geländemodell (DGM) des *High Altitude Mapping Orbiter* (HAMO) (Preusker et al., 2016), Bildkacheln des *Low Altitude Mapping Orbiter* (LAMO) (Roatsch et al., 2017) sowie geologische und geomorphologische Karten (Williams et al., 2018; Nass, 2019). Hinzu kommen wissenschaftliche Veröffentlichungen, die den Zwergplaneten Ceres beschreiben und eindeutig den räumlichen Daten des Beispieldatensatzes zugeordnet werden können.

3.2 Implementierung des Prototyps

Im Rahmen der hier vorgestellten Entwicklung wurde eine zweistufige Architektur mit einem Daten-Backend und einem Visualisierungs-Frontend gewählt (vgl. Abb. 1). Diese Systemstruktur ist eine weitverbreitete Architektur im Bereich webbasierter GIS, mit der alle SRs (siehe 3.1.2) abgedeckt werden können.

In unserem Prototyp sind die Aufgaben des Backends die Speicherung und Bereitstellung von Planetendaten. Das Backend wird in der vom DFD entwickelten und betriebenen EOC Geoservice-Plattform implementiert. Das Hauptziel dieser Plattform ist es, Zugang zu Erdbeobachtungsdaten und Mehrwertprodukten sowie Visualisierungs-, Such- und Analyse-diensten zu bieten (EOC, 2022). Die skalierbare Architektur und das Multi-Missions-Design des EOC Geoservice erleichtern die Instanziierung von Diensten für Projekte wie den vorliegenden Prototyp.

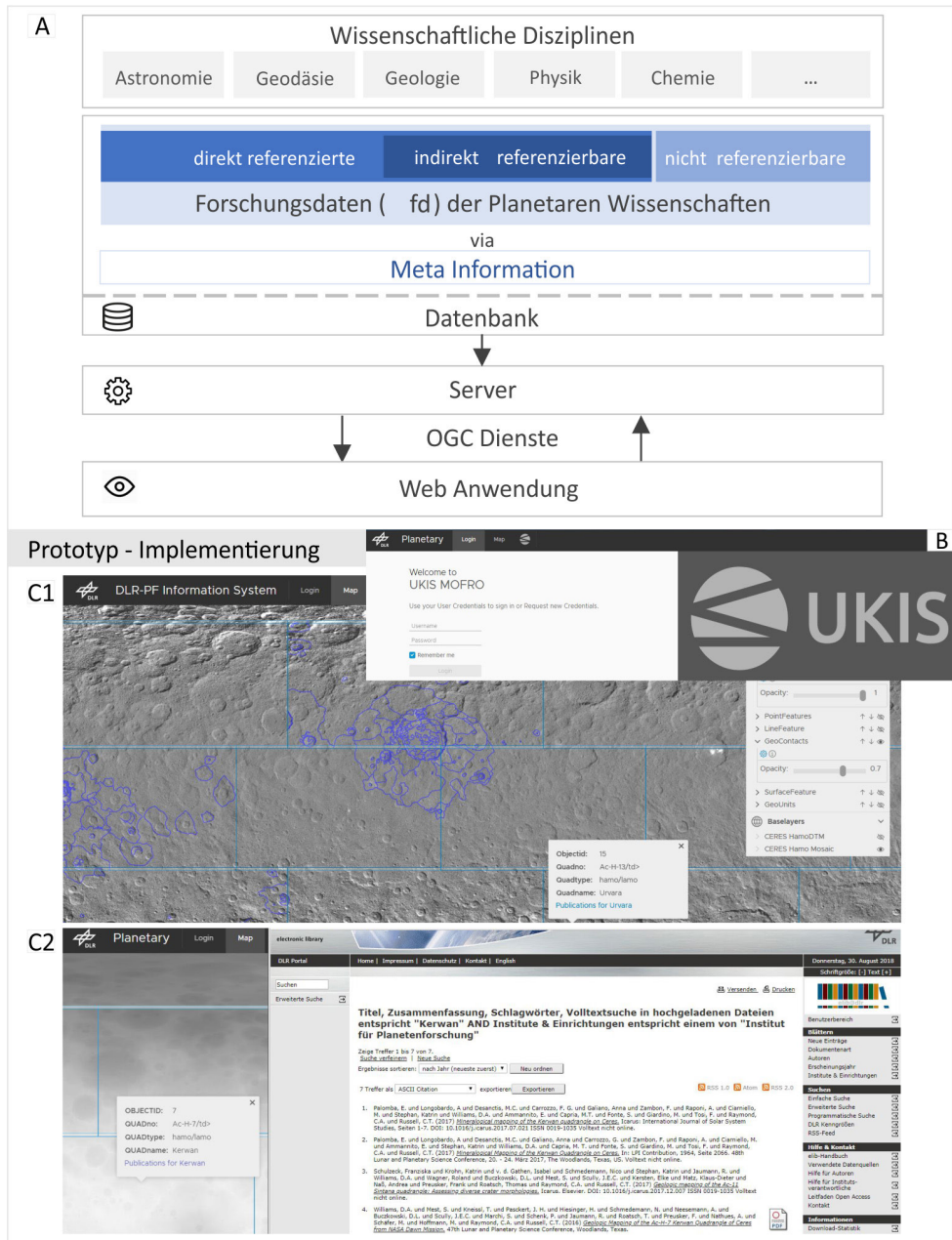


Abb. 1: A) Schematischer Aufbau des Prototyps: Forschungsdaten aus PF als Anwendungsfall (oben), Adaption der DFD-Entwicklungen für planetarische Daten (unten). B) Graphical User Interface (GUI) für Nutzer-Login. C) Screenshots des gegenwärtigen Prototyps: C1) HAMO Mosaik inkl. geologischer Kartierung und attributiver Informationen; C2) HAMO DTM inkl. ELIB-Anbindung über Schlagwortsuche (Datenreferenz siehe 3.1.3).

Das Frontend stellt die Schnittstelle zwischen Datenhaltung und Anwendenden dar und dient somit als Client für das Backend. Es zeigt die vom Backend bereitgestellten Planetendaten auf einer webbasierten Kartenabbildung. Das Frontend basiert auf UKIS (Umwelt- und Kriseninformationssysteme), dem Framework des DFD für geowissenschaftliche Webanwendungen (Mühlbauer, 2022). UKIS wird seit 2011 im DFD entwickelt mit dem Ziel, die Forschung des Instituts im Bereich der Erdbeobachtung durch innovative Softwaresysteme zugänglich und nutzbar zu machen. Technisch ist UKIS in Module unterteilt, die jeweils klar definierte Aufgaben haben. Eines dieser Module ist das UKIS-Frontend, eine Open-Source-Web-Oberfläche zur intuitiven Analyse und Visualisierung von Geodaten (Böck, 2022). Das UKIS-Frontend basiert seinerseits auf einer Vielzahl von populären Open-Source-Entwicklungen. Die wichtigsten davon sind:

- TypeScript ist eine Programmiersprache, die ursprünglich von Microsoft entwickelt wurde. Sie ist für die Implementierung umfangreicher Anwendungen konzipiert und erweitert JavaScript um Funktionalitäten wie statische Typisierung. TypeScript-Programme lassen sich in einfaches JavaScript kompilieren (Typescriptlang, 2022).
- Angular ist ein generisches TypeScript-basiertes Framework für die Entwicklung komplexer Webanwendungen. Die erste Version wurde 2016 von Google vorgestellt. Heute ist Angular eines der am weitesten verbreiteten Frameworks für die Entwicklung von mobilen und desktopbasierten Anwendungen (Google, 2022).
- Clarity ist ein von VMWare entwickeltes Open-Source-Designsystem, das UX-Richtlinien, ein HTML/CSS-Framework, Angular-Komponenten und Web Components kombiniert (VMWare, 2022).
- OpenLayers ist eine JavaScript-Bibliothek zur Integration von Karten in webbasierte Anwendungen (OpenLayers, 2022).

Wie bereits erwähnt, handelt es sich bei UKIS um ein Softwareframework, das in erster Linie für die Geowissenschaften entwickelt wurde. Aufgrund der Standardkonformität von UKIS und einer gleichzeitig starken Ausrichtung auf Flexibilität war die Integration von Daten aus der Planetenforschung jedoch mit geringen Anpassungen möglich. Die einzige notwendige Erweiterung war die Integration der benutzerdefinierten Projektion, die für Ceres im Backend erstellt wurde. Zu diesem Zweck wurde die Bibliothek proj4js (proj4js, 2022) in das UKIS-Frontend eingebunden, die eine Schnittstelle zur benutzerdefinierten Projektion bietet. Alle Bedienelemente, wie z. B. die Layer-Navigation sowie das Design des Systems, konnten unverändert von der UKIS-Basis übernommen werden.

Das gesamte hier vorgestellte System basiert auf etablierten Standards aus dem Kontext der Webentwicklung. So wird die Kommunikation der beiden Schichten unserer Architektur über Schnittstellen wie den Standards von *Open Geospatial Consortium* (OGC, 2022a-c) realisiert. Zusätzlich erlaubt das Frontend die Abfrage von externen Metadatenanbietern wie z. B. der *elektronischen Bibliothek* (ELIB) des DLR (ELIB, 2022). ELIB ist ein öffentliches Archiv mit Publikationen von DLR-Mitarbeitern. Unser Frontend ist in der Lage, Anfragen an die ELIB zu senden, um Publikationen zu denjenigen Regionen auf Ceres zu finden, die aktuell in der webbasierten Kartenabbildung angezeigt werden.

3.3 Evaluierung des Prototyps

Dieser Teil konzentrierte sich auf die Bewertung der Funktionalität und Leistung des Planetaren Informationssystems. Dabei ist es notwendig, die Entwicklung unter den zuvor definierten Nutzungs- und Systemanforderungen zu überprüfen (siehe 3.1.2.). Die Umsetzung

bzgl. UR und SR #1, 2, 3, 5 und 7 wird in Abbildung 1 gezeigt. Für eine ausführliche Diskussion und Bewertung des Prototyps wird auf Nass et al. (2022) verwiesen.

Kurz zusammengefasst hat der Großteil der Forschungsdaten in der Planetenforschung einen direkten oder indirekten Raumbezug. Daher erscheinen webbasierte GIS-Technologien als eine solide Entwicklungsgrundlage für ein planetares Informationssystem basierend auf dem Forschungsdatenschatz von PF. UKIS, als vom DFD entwickeltes Open-Source-Software-Framework für intuitive webbasierte GIS, bildet zusammen mit einem standardbasierten Geodatenzugangs- und Datenverwaltungsdienst, wie dem vom DFD gehosteten EOC Geoservice, aufgrund seiner Flexibilität und stabilen Architektur eine ideale Basis für eine Geodatenplattform. Beide Umgebungen sind am DFD etablierte Technologien und können durch spezifische Systemanpassungen ressourcenschonend an planetare Raumbezugssysteme angepasst werden. Anpassbare Schnittstellen sorgen darüber hinaus für eine Verbindung zwischen Geodaten und Literatur.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Eine zentrale Daten- und Informationsspeicherung bildet die Grundlage für eine langfristige, wissenschaftlich und finanziell nachhaltige Verwaltung und Bearbeitung von Forschungsergebnissen. Dieser Beitrag beschäftigt sich mit der Konzeption und Entwicklung eines funktionierenden (institutionellen) Prototyps, der als Planetares Informationssystem konzipiert und entwickelt wurde. Der Fokus liegt dabei auf der zentralen Bereitstellung von Forschungsdaten, die von oder unter Beteiligung einer Forschungseinrichtung (hier DLR-PF) produziert wurden und werden. Unser Ansatz ermöglicht es der wissenschaftlichen Gemeinschaft, sich über raumzeitliche Beziehungen und Metadaten zu vernetzen. Dadurch können Forschungsdaten über Disziplinen und Missionen hinweg verglichen werden, um besser auf vorhandenen Informationen und Wissen aufzubauen. Ansätze wie dieser fügen sich in die aktuelle Diskussion über die Datenverfügbarkeit im Kontext von *Open Science* ein, insbesondere für öffentlich finanzierte Forschungsdaten.

Es lässt sich zusammenfassen, dass die Implementierung eines voll funktionsfähigen Prototyps eines Planetaren Informationssystems umfassend dargestellt wurde. Im Einzelnen bedeutet dies (mit Verweis auf Abb. 1), dass die Missionsdaten (1) mithilfe des EOC Geoservice gut strukturiert gespeichert werden, (2) über standardisierte Webschnittstellen des EOC Geoservice zur Verfügung gestellt werden und (3) über das UKIS-basierte Frontend dargestellt werden können. Darüber hinaus implementiert das Frontend eine Schnittstelle zu der institutionellen elektronischen Bibliothek ELIB.

Im Hinblick auf die Nutzung der hier vorgestellten Entwicklungen ist darauf hinzuweisen, dass der öffentliche Zugang derzeit begrenzt ist, da das entwickelte System auf die institutionelle Ebene ausgerichtet ist und der Nutzen für die Öffentlichkeit noch nicht gegeben ist. Die wesentlichen Teile der Entwicklungen können jedoch durch die hier und in Nass et al. (2022) gegebene Beschreibung nachvollzogen werden.⁴

Literatur

- Besse, S., Vallat, C., Barthelemy, M. et al. (2018). ESA's Planetary Science Archive: Preserve and present reliable scientific data sets. *Planetary and Space Science*, 150, 131–140. doi:10.1016/j.pss.2017.07.013.
- Böck, M., Langbein, M., Voinov, S. et al. (2022). *UKIS Frontend Libraries*. doi:10.5281/zenodo.5607607. Retrieved Jan 10, 2022, from <https://github.com/dlr-eoc/ukis-frontend-libraries>.
- CERN (2022). *Zenodo*. European Organization for Nuclear Research. Retrieved Jan 10, 2022, from <https://zenodo.org/>.
- CODATA (2022). *The Committee on Data for Science and Technology (CODATA)*. Retrieved Jan 10, 2022, from <https://codata.org>.
- Davies, G., Mason, N., Green, S., et al. (2009). Europlanet Research Infrastructure: Planetary Simulation Facilities. *Europlanet Planetary Space Conference Abstracts*, 4, #EPSC2009-63.
- DFD (2022). *German Remote Sensing Data Center*. Retrieved Jan 10, 2022, from https://www.dlr.de/eoc/en/desktopdefault.aspx/tabid-5278/8856_read-15911/.
- ELIB (2022). *Elektronische Bibliothek – Publikationen des DLR*. Retrieved Jan 10, 2022, from <https://elib.dlr.de/>.
- EMM (2022). *Emirates Mars Mission – Science Data Center*. Retrieved Jan 10, 2022, from <https://sdc.emiratesmarsmission.ae/>.
- EOC (2022). *EOC – Geoservice*. Retrieved Jan 10, 2022, from <https://geoservice.dlr.de/>.
- EOSC (2022). *European Open Science Cloud (EOSC) – European Commission*. Retrieved Jan 10, 2022, from https://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/strategy/strategy-2020-2024/our-digital-future/open-science/european-open-science-cloud-eosc_en.
- Erard, S., Cecconi, B., Le Sidaner, P., et al. (2020). Virtual European Solar and Planetary Access (VESPA): A Planetary Science Virtual Observatory Cornerstone. *Data Science Journal*, 19. doi:10.5334/dsj-2020-02.
- Europlanet (2021). *Europlanet.TA2 – Distributed Planetary Laboratory Facility*. Retrieved Jan 10, 2022, from <https://www.europlanet-society.org/europlanet-2024-ri/ta2-dplf>.
- Figshare (2022). *figshare – credit for all your research*. Retrieved Jan 10, 2022, from <https://figshare.com>.
- Glass, G. V. (1976). Primary, Secondary, and Meta-Analysis of Research. *Educational Researcher*, 5(3-8). doi:10.3102/0013189.
- GO FAIR (2022). *GO FAIR initiative: Make your data & services FAIR*. Retrieved Jan 10, 2022, from <https://www.go-fair.org>.
- Google (2022). *Angular*. Retrieved Jan 10, 2022, from <https://angular.io>.
- Hox, J., & Boeije, H. (2005). Data collection, primary versus secondary. *Encyclopedia of Social Measurement*. doi:10.1016/B0-12-369398-5/00041.
- ISO (2014). *Systems and Software Engineering – Systems and Software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) – Planning and Management*. International Standardization Organization. Technical Report ISO/IEC 25001:2014, ISO/IEC JTC 1/SC 7.
- ISO (2019). *Technical Report 25065:2019, ISO/TC 159/SC 4, Systems and Software Engineering – Software Product Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) – Common Industry Format (CIF) for Usability: User Requirements Specification*. International Standardization Organization.

- JAXA (2022). *Japan Aerospace Exploration Agency – Digital Archives*. Retrieved Jan 10, 2022, from <http://jda.jaxa.jp/en/>.
- Laura, J. R., & Beyer, R. A. (2021). Knowledge Inventory of Foundational Data Products in Planetary Science. *The Planetary Science Journal*, 2. doi:10.3847/PSJ/abcb94.
- Mühlbauer, M. (2022). *UKIS – Environmental and Crisis Information Systems*. Retrieved Jan 10, 2022, from https://www.dlr.de/eoc/en/desktopdefault.aspx/tabid-5413/10560_read-21914/.
- NAOC (2022). *National Astronomical Observatories of China*. Retrieved Jan 10, 2022, from <http://english.nao.cas.855cn/>.
- Nass, A. (2019). Review of a Compilation Process: A Map Package based on 15 individual Geological Maps of Ceres. *Europlanet Planetary Space Conference Abstracts*, #1304.
- Nass, A., Mühlbauer, M., Heinen, T. et al. (2022) Approach towards a Holistic Management of Research Data in Planetary Science – Use Case Study Based on Remote Sensing Data. *Remote Sensing* 2022, 14, 1598. <https://doi.org/10.3390/rs14071598>.
- NFDI (2022). *Nationale Forschungsdateninfrastruktur (NFDI)*. Retrieved Jan 10, 2022, from <https://www.nfdi.de/>.
- OGC (2022a). *Open Geospatial Consortium – Web Map Service*. Retrieved Jan 9, 2022, from <https://www.ogc.org/standards/wms>.
- OGC (2022b). *Open Geospatial Consortium – Web Feature Service*. Retrieved Jan 9, 2022, from <https://www.ogc.org/standards/wfs>.
- OGC (2022c) *Open Geospatial Consortium – Web Coverage Service*. Retrieved Jan 9, 2022, from <https://www.ogc.org/standards/wcs>.
- OpenLayers (2022). *OpenLayers*. Retrieved April 8, 2022, from <https://openlayers.org>.
- PDS (2022). *Planetary Data System*. Retrieved Jan 10, 2022, from <https://pds.nasa.gov/proj4js>
- proj4js (2022). *proj4js*. Retrieved April 8, 2022, from <https://proj4js.org>.
- PSA (2022). *Planetary Science Archive*. Retrieved Jan 10, 2022, from <https://www.cosmos.esa.int/web/psa/psa-introduction>.
- Preusker, F., Scholten, F., Matz, K.-D., et al. (2016). Dawn at Ceres – Shape model and rotational state. *47th Lunar and Planetary Institute Abstract*, #1954.
- RDA (2021). *Research Data Alliance*. Retrieved Jan 10, 2022, from <https://www.rd-alliance.org>.
- Roatsch, T., Kersten, E., Matz, K.-D., et al. (2016). High-resolution Ceres High Altitude Mapping Orbit atlas derived from Dawn Framing Camera images. *Planetary and Space Science*, 129, 103–107. doi:10.1016/j.pss.2016.05.0.
- Roatsch, T., Kersten, E., & Matz, K.-D. (2017). High-resolution Ceres Low Altitude Mapping Orbit Atlas derived from Dawn Framing Camera images. *Planetary and Space Science*, 140, 74–79, doi:10.1016/j.pss.2017.04.00.
- Royce, W. (1987). Managing the development of large software systems: concepts and techniques. *ICSE '87*.
- Typescriptlang (2022). *Typescriptlang*. Retrieved April 8, 2022, from <https://www.typescriptlang.org>.
- VMWare (2022). *Clarity design system*. Retrieved April 8 2022, from <https://clarity.design>.
- Wilkinson, M. D., Dumontier, M., Aalbersberg, I. J., et al. (2016) The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship. *Scientific Data*, 3, 160018–160018. doi:10.1038/sdata.2016.18.
- Williams, D. A., Buczkowski, D. L., Mest, S. C. et al. (2018) Introduction: The geologic mapping of Ceres. *Icarus*, 316, 1–13, doi:10.1016/j.icarus.2017.05.004.