

# 2021

i3

mainz

Institut für raumbezogene  
Informations- und Messtechnik  
Hochschule Mainz



**Kulturelles Erbe:**  
messen, verstehen,  
bereitstellen

Neues zu Team und  
Transfer, Forschungs-  
projekten und Ausblick

# Inhalt

<b>04 Editorial</b>					
<b>06 Neues aus dem Institut</b>					
08 Willkommen in unserem Team					
10 Auszeichnungen					
14 Verzahnung von Lehre und Forschung					
20 Abgeschlossene und laufende Dissertationen					
22 Transfer in Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft					
	<b>32 Kulturelles Erbe: messen, verstehen, bereitstellen</b>				
	34 Kulturerbe ist Welterbe				
	36 Kulturerbe und die Hochschule Mainz				
	38 Datenerfassung: Analoge und digitale Originale				
	42 Landschaften				
	44 Gebäude				
	46 Objekte				
	52 Digitalisiertes kulturelles Erbe				
	54 Literatur				
		<b>56 Forschungsprojekte</b>			
		58 Raumintelligenz für die integrierte Versorgung von Seniorinnen und Senioren in ländlichen Quartieren (RAFVINIERT)			
		60 BauRobo – Entwicklung einer robotergestützten Prozessführung für den Innenbereich im Baugewerbe	72	bim4cAlre – Shaping the Future of Care with the Digital Twin	
		62 Ende und Anfang im Tempel von Heliopolis	74	Digitale Edition der Keilschrifttexte aus Haft Tappeh	
		64 Metadatenschema und Ontologiemodel für die Aufnahme und Prozessierung von 3D-Modellen des Kulturellen Erbes	76	Intelligente Datenerfassung, Haltung und Bereitstellung innerhalb der Öffentlichen Verwaltung	
		66 GEMEINSAM – KI-gestütztes Gebäudemonitoring für das Besuchermanagement	78	African Red Slip Ware digital – 3D-Dokumentation für die multiperspektivische Analyse einer zentralen Objektgattung der Spätantike	
		68 Registrierung von 3D Scans mit Hyperspektralen Scans im Kontext von Umweltsanwendungen	80	Integrated Mining Impact Monitoring – i2mon	
		70 BAM – Big-Data-Analytics in Environmental and Structural Monitoring	<b>82</b>	<b>Ausblick</b>	
			<b>84</b>	<b>Impressum</b>	



Kai-Christian Bruhn;  
Foto: Svenja Schwerdtfeger,  
CC BY-SA 4.0

Liebe Leserinnen, liebe Leser,

stellvertretend für die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sowie die Leitung und das Kollegium darf ich Sie herzlich zur Lektüre unseres Jahresberichts einladen. Wir hoffen, Ihnen mit diesem nun etablierten Format die Möglichkeit zu eröffnen, sich blättern über die Aktivitäten des i3mainz zu orientieren oder gezielt nach Neuigkeiten zu suchen.

Als Fokusthema stellen wir in diesem Jahr das Kulturelle Erbe in den Mittelpunkt. Die Digitalisierung von historischen Objekten, Gebäuden und Landschaften wurde dem Institut quasi in die Wiege gelegt. Seit seiner Gründung bringt das i3mainz seine Kompetenzen in vielfältigen Projekten ein. In dem Beitrag wird deutlich, wie dynamisch die Entwicklungen sind und welche Herausforderungen noch auf uns warten.

Für das Institut unter neuer Leitung stellte sich eine zentrale Aufgabe. In den letzten Jahren konnten wir tolle Kolleginnen und Kollegen hinzugewinnen, die mit viel Engagement ihre Forschungsschwerpunkte in die Institutsarbeit integrieren und die Kompetenzfelder ergänzen. Für die Umsetzung dieses Transformationsprozesses konnte die Leitung eine Koordinationsstelle einrichten, die von Dr. Philipp Waleska hervorragend ausgefüllt wurde. Außerdem wurde die Website des Instituts technisch vollständig überarbeitet und graphisch aufgewertet und entspricht seit 2021 wieder den aktuellen Anforderungen an Sicherheit und Qualität.

Darüber hinaus finden Sie in diesem Bericht alles, was unser Jahr 2021 geprägt hat. So ging etwa das Projekt RAFVINIERT an den Start, in dem nach Lösungen für wichtige demografische Entwicklungen im ländlichen Raum gesucht wird. Neben BAM – Big-Data-Analytics in Environmental and Structural Monitoring ist es mit seinen fünf Promotionsstellen das zweite große, von der Carl-Zeiss-Stiftung geförderte Forschungsprojekt am i3mainz.

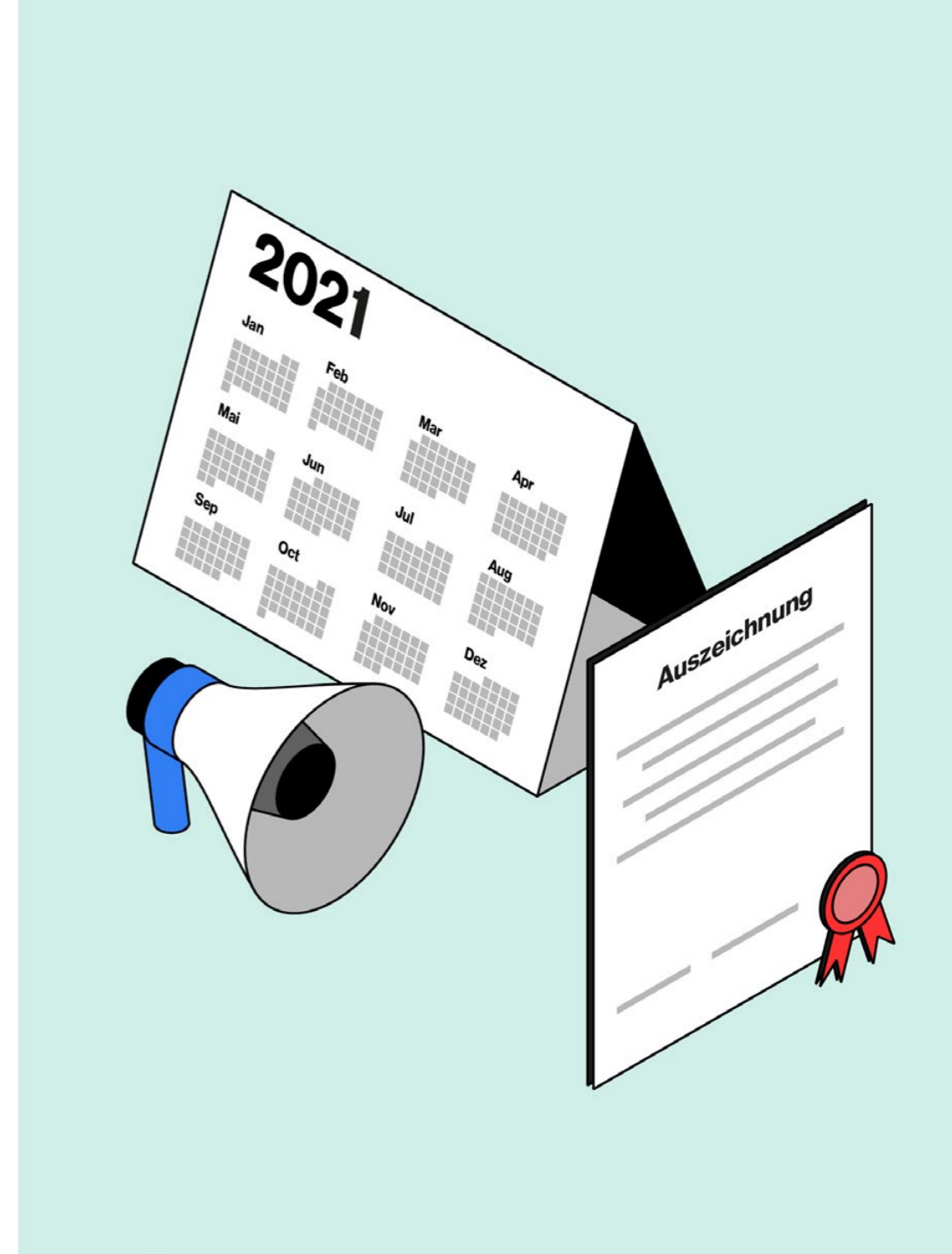
Wie ging es mit den laufenden Projekten weiter? Bei welchen Themen war die Zusammenarbeit mit der Fachrichtung Geoinformatik und Vermessung und unseren Studierenden besonders fruchtbar? Und wo haben sich neue Möglichkeiten des Wissentransfers mit Partnern in Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft entwickelt?

All das erfahren Sie auf den folgenden Seiten. Viel Freude beim Lesen wünscht

Prof. Dr. phil. Kai-Christian Bruhn  
Mitglied der Institutsleitung

# Neues aus dem Institut

**Welche Veränderungen gab es 2021 in unserem Team? Mit welchen Fragen haben sich unsere Studierenden beschäftigt? Welchen Themen waren wir gemeinsam mit unseren Partnern in Wissenschaft, Wirtschaft und Verwaltung auf der Spur?**



# Willkommen in unserem Team



**Florian Brunn**  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter



**Konstantin Geist**  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter



**Michael Schleier**  
Wissenschaftliche Hilfskraft

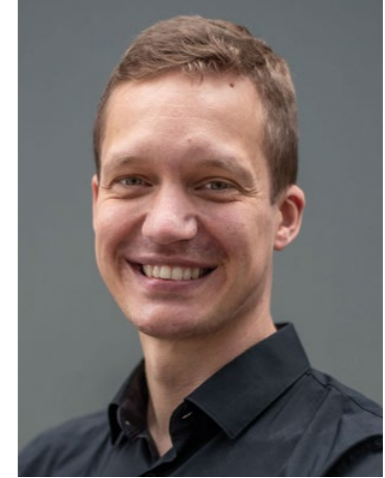


—> Weiter zum gesamten Team:  
[i3mainz.hs-mainz.de/team/](https://i3mainz.hs-mainz.de/team/)



**Max Hoppe**  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

**Dominik Visca**  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter



**Philipp Waleska**  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter



**Christian Wolff**  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

# Auszeichnungen

## Svenja Ruthmann erhält Preis der IHK für Rheinessen 2021

Svenja Ruthmann, Masterstudentin der Fachrichtung Geoinformatik und Vermessung, erhielt den dritten Preis der IHK für Rheinessen 2021.

Ihre Masterarbeit mit dem Titel *Machine und Transfer Learning zur Klassifikation landwirtschaftlicher Bewirtschaftung* verfasste sie in Zusammenarbeit mit der GDV Gesellschaft für geografische Datenverarbeitung mbH in Ingelheim, wo die Preisträgerin inzwischen als Softwareentwicklerin angestellt ist. Die Studentin beschäftigte sich in ihrer Arbeit mit der Klassifizierung von Fotografien landwirtschaftlicher Flächen mithilfe aktueller Methoden der Künstlichen Intelligenz.



## Landeskulturpreis 2021 für Cedric Jager

Cedric Jager wurde anlässlich der 41. Bundestagung der Deutschen Landeskulturgesellschaft (DLKG) mit dem Deutschen Landeskulturpreis 2021 ausgezeichnet. In seiner Bachelorarbeit hat sich der Student der Geoinformatik und Vermessung dem Thema *Einführung von Wertschöpfungsanalysen für Flurbereinigungsverfahren im Saarland* gewidmet. Dabei wurde er von Axel Lorig betreut.

Seit Inkrafttreten des Flurbereinigungsgesetzes zum 1. Januar 1954 wurde mehrfach versucht, die Wirkung und den monetären Erfolg von Flurbereinigungsverfahren abzuschätzen. Cedric Jager analysierte in seiner Arbeit sehr detailliert die vorliegenden Ansätze und entwarf anschließend, basierend auf moderneren Ansätzen der Wertschöpfung, eine Systematik für Flurbereinigungsverfahren im Saarland.

Abbildung unten links:  
Svenja Ruthmann, Foto: Vanessa Liebler,  
CC BY-SA 4.0

Abbildung oben rechts:  
Verleihung des DLKG-Förderpreises 2021:  
Prof. Dr. Karl-Heinz Thiemann (Vorsitzender der DLKG), Prof. Axel Lorig und Cedric Jager (v.l.n.r.), Foto: Claudia Kaiser, DLKG,  
All rights reserved

### Drei Studenten der Fachrichtung Geoinformatik und Vermessung wurden vom DVW Rheinland-Pfalz mit dem Harbert-Buchpreis ausgezeichnet

Lukas Haas erhielt die Auszeichnung für seine Bachelorarbeit zum Thema *Bestimmung von Trasselementen aus in QGIS digitalisiertem grafischem Entwurf*. Das von ihm in Python entwickelte Plugin für das freie Geoinformationssystem QGIS ermöglicht im Rahmen einer Straßenplanung, aus einer Folge von digitalisierten Punkten entlang einer existierenden oder zu planenden Trasse auf Grundlage lokaler Krümmungen eine angepasste Bogen-elementfolge zu ermitteln und in QGIS darzustellen.

Tom Weichold verfasste seine Masterarbeit zum Thema *Automatische Modellierung von Gebäudeschnitten aus Punktwolken*. Bei der Erfassung von Gebäuden wird die tachymetrische Aufnahme zunehmend durch das Laserscanning abgelöst. Für die Interpretation der Bauwerksgeometrie werden aus den gesammelten Daten mit viel manuellem Aufwand Gebäudeschnitte erzeugt. In seiner Masterarbeit entwickelte Tom Weichold eine Methodik, um diesen Aufwand zu verringern.

Andreas Becker konzipierte in seiner Masterarbeit mit dem Titel *Bewertung und Verbesserung der Qualität von Geodaten für den Drainage & Sanitation Development Plan, Mbeya, Tansania* eine strukturierte Vorgehensweise zur Erstellung von Datenmodellen. Die Arbeit entstand im Rahmen des Berufsbegleitenden Masters Geoinformatik. Hintergrund sind internationale Entwicklungsprojekte, bei denen oft Geodaten zur Verfügung stehen, die aus unterschiedlichen Quellen stammen und deren Struktur und Qualität nicht dokumentiert ist. Der in der Arbeit entwickelte Leitfaden soll in erster Linie als Grundlage für künftige Projekte in diesem Anwendungsbereich dienen.

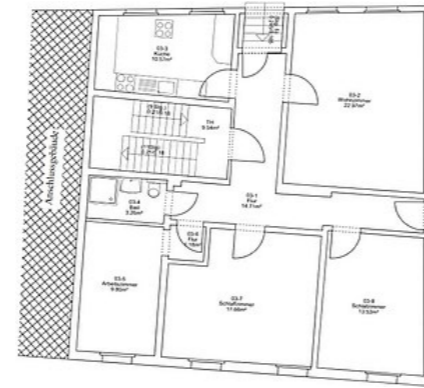


Abbildung links:  
Die Wohnung in diesem von Hand abgeleiteten Grundriss war zum Zeitpunkt der Aufnahme vollmöbliert. Vor der Anwendung des implementierten Algorithmus fand keine Bereinigung der Punktwolke statt.  
Grafik: Tom Weichold, CC BY-SA 4.0

Abbildung rechts:  
Endergebnis im Lageplan mit Stationierung der Hauptpunkte; Kartengrundlage: Stadtgebiet Mainz [online], Google Earth © 2020 GeoBasis-DE/BKG (© 2009)



# Verzahnung von Lehre und Forschung

In der Fachrichtung Geoinformatik und Vermessung sind auch 2021 zahlreiche studentische Arbeiten entstanden, die im Zusammenhang mit Forschungsprojekten des i3mainz stehen. Die Bereiche SmartCity, Bauwerksüberwachung und Deformationsmessungen, UAV sowie 3D-Daten-Erfassung und -Auswertung sowie GIS und demographischer Wandel standen dabei im Vordergrund. Exemplarisch stellen wir hier einige studentische Arbeiten vor.

Abbildung:  
Geometrien auf einer Karte der Stadt Mainz. Liniengeometrien visualisieren das Schienennetz der Stadt Mainz, Häuserpolygone repräsentieren Gebäude der Hochschule sowie der Universität. POIs, Haltestellen und Grünflächen werden mit unterschiedlichen Markern hervorgehoben. Grafik: Masterprojektarbeit von Vitus Graule, Julian Stockemer, CC BY SA 4.0

## Interaktive Augmented Reality Visualisierung

Der Fokus einer Masterprojektarbeit lag darauf, das Potential von Augmented Reality (AR) bei der Visualisierung von Geodaten und die Interaktion mit dem Nutzer herauszuarbeiten und auf verschiedenen mobilen Endgeräten nutzbar zu machen. Am Ende stand eine Android-Applikation, die als Prototyp für Smartphones und Tablets dient. Anhand unterschiedlicher anwendungsbezogener Beispiele wurden diverse Möglichkeiten der Nutzung aufgezeigt.





### Tatortvermessung und -dokumentation

Am Anfang stand die Idee von Kerstin Jeppe, ihr Fachwissen aus fünf Semestern im Bachelorstudengang Geoinformatik und Vermessung in die tägliche Arbeit am Hessischen Landeskriminalamt (HLKA) in Wiesbaden einzubringen. Für die Entstehung einer Zusammenarbeit zwischen Lehrereinheit, i3mainz und HLKA waren nicht zuletzt die persönlichen Kontakte zu Tobias Reich hilfreich. Der langjährige Mitarbeiter des i3mainz gehört heute dem Bereich *Tatortvermessung & -dokumentation* am HLKA an.

Ein spannendes Thema war bald gefunden: Die durch Überwachungskameras erfassten Bilder von Tätern zeigen diese stets in einer verzerrten Perspektive, da die Kameras in der Regel unter der Decke hängen und den Täter von oben fotografieren. Eine Größenbestimmung fällt daher schwer. Das am HLKA angewandte Verfahren basiert auf einer Kombination verschiedener Techniken: der photogrammetrischen Bildmesstechnik, dem 3D-Laserscanning und der virtuellen 3D-Modellierung. Kerstin Jeppe entwickelte mit Unterstützung von Tobias Reich einen Workflow zur Optimierung dieses Verfahrens.

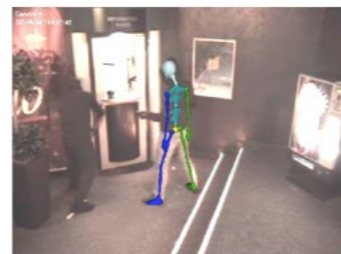
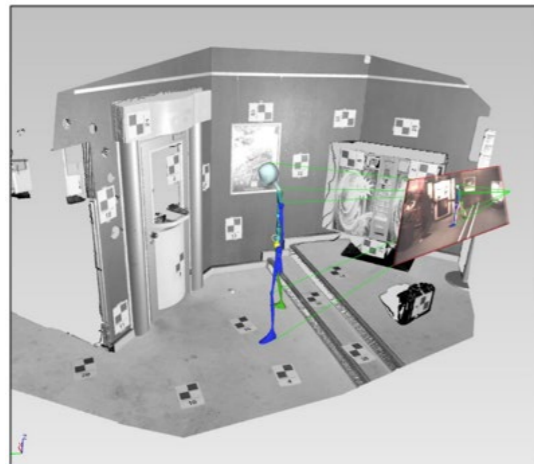


Abbildung rechts:  
Bei nächtlichen Messungen an Brückenbauwerken erprobte die Master-Projektgruppe Structural Health Monitoring das Messverfahren MoDiTa des i3mainz, Foto: Hochschule Mainz, CC BY-SA 4.0

Abbildung links:  
3D-Datensatz der Örtlichkeit (grau schattiert) mit einem eingerechneten Überwachungskamerabild. Integration eines virtuellen Dummy, der durch die bekannte Beziehung zwischen dem 3D-Datensatz und der Kamera dem im Bild abgebildeten Täter annähernd entspricht (l.);

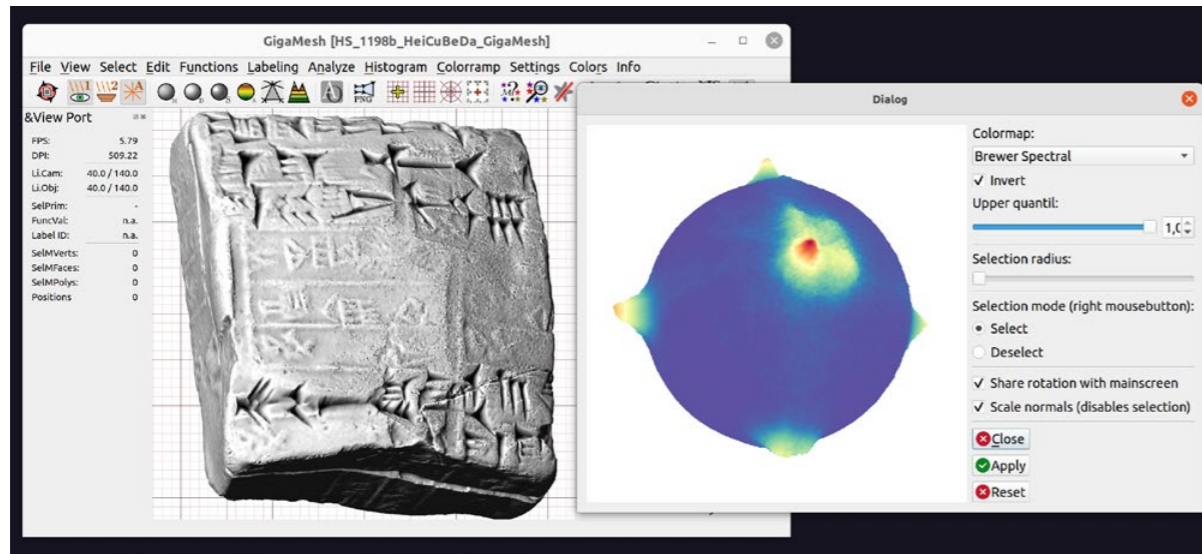
Überwachungskamerabild mit dem entsprechend projizierten virtuellen Dummy im Bildbereich des abgebildeten Täters (r.)  
Hessisches Landeskriminalamt, All rights reserved



### Deformationsmessung und -analysen

Eine Master-Projektgruppe beschäftigte sich mit der Erprobung von MoDiTa im Zusammenhang mit Deformationsmessungen an Brückenbauwerken mit Genauigkeiten im Submillimeterbereich.

Mit Genehmigung der Stadt Mainz und mit Unterstützung der Mainzer Polizei nutzten sie die nächtliche Überfahrt eines Schwertransporters für Ihre Messungen. Mit zwei parallelaufenden Testmessungen erzielten die Studierenden trotz schwieriger Lichtverhältnisse brauchbare Ergebnisse.



### 3D Annotationen von Keilschrifttafeln

Zwei Praxisprojekte im Rahmen des Haft Tappeh-Projektes wurden an Masterstudenten des hochschulübergreifenden Studiengangs Digitale Methodik in den Geistes- und Kulturwissenschaften vergeben.

Ein Student erarbeitete und implementierte Konzepte für die 3D Annotationen von Keilschrifttafeln, welche bisher noch kaum verbreitet und standardisiert sind. Er testete verschiedene Methoden der Überführung von 2D Annotationen in den dreidimensionalen Raum, als Box oder als Volumen im Oberflächen-Mesh des 3D-Objekts. Auch versuchte er, Einzelkeile dreidimensional zu annotieren und entwickelte eine Erkennung der Keiltyten anhand des etablierten Gottsteinklassifikationssystems für Keilschriftzeichen. Er prüfte außerdem verschiedene Austausch-Formate auf ihre Eignung und Kompatibilität für die Übertragung der 3D Annotationen zwischen gängigen 3D Softwarelösungen wie Giga-Mesh oder Meshlab.

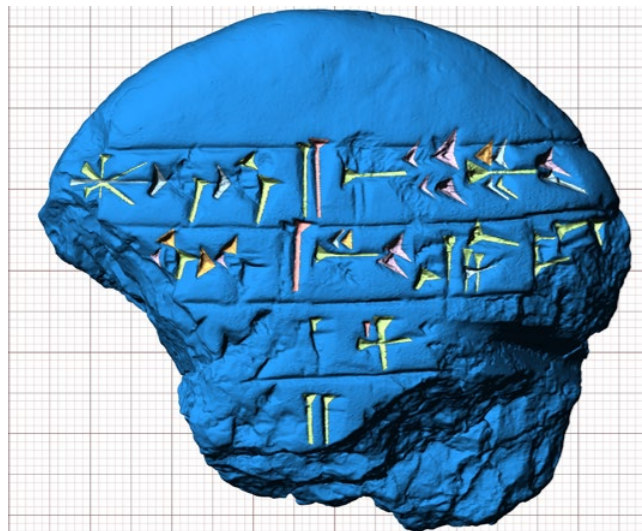


Abbildung oben:  
In der Software GigaMesh widergegebener 3D-Scan einer Keilschrifttafel. Dieser wird in Bezug gesetzt zu der Gaußschen Normalensphäre. In der Darstellung sieht man flache Bereiche als Häufungspunkte, die Seiten der Tafel als Berggipfel;  
Grafik: Hubert Mara, Universität Halle-Wittenberg, CC BY-SA 4.0

Abbildung unten:  
Annotierte Keile auf einem 3D Modell als Ergebnis des Praxisprojekts. Die Keilarten nach Gottstein werden durch verschiedene Farben repräsentiert und automatisch erkannt;  
Grafik: Robert Zwick/i3mainz, CC BY-SA 4.0

Das zweite Praxisprojekt widmete sich der Entwicklung von Ähnlichkeitsmetriken auf 3D Modellen von Keilschrifttafeln. Ziel war es, einen digitalen Fingerabdruck einzelner 3D-Datenobjekte zu erstellen, um einen automatisierten Vergleich von Objekten in großen Datenrepositorien zu ermöglichen. Hierbei wurde die Ähnlichkeit zu sogenannten Referenzkörpern wie Standardkugeln oder Quadern bestimmt, die zu den 3D Scans in Bezug gesetzt wurden. Kombiniert mit weiteren Informationen zu den Schrifttafeln wie z.B. Fundorten oder Textinhalten, erschließen die gewonnenen Metriken zusätzliche Potentiale für die Auswertung der Objekte.

# Abgeschlossene Dissertation

Am 9. Dezember verteidigte Songül Polat, langjährige Mitarbeiterin am i3mainz, am Laboratoire Hubert Curien der Université Jean Monnet in Saint-Étienne erfolgreich ihre Doktorarbeit.

Im Rahmen des Projekts *Registrierung von 3D Scans mit Hyperspektralen Scans im Kontext von Umweltanwendungen* hatte sie sich rund drei Jahre lang mit der Verknüpfung hyperspektraler und geometrischer Daten in verschiedensten Anwendungsfeldern beschäftigt.

Die rasanten Entwicklungen in der hyperspektralen Bildgebung eröffnen aufgrund ihrer hohen räumlichen und spektralen Auflösung neue Möglichkeiten für ein besseres Verständnis der physikalischen Aspekte von Materialien und Szenen in einer Vielzahl von Anwendungen. 3D-Technologien helfen, Szenen durch die Nutzung geometrischer, topologischer und Tiefeninformationen detaillierter zu verstehen. Die Untersuchungen in dieser Arbeit zielen auf die kombinierte Nutzung von 3D- und Hyperspektraldaten ab und zeigen anhand verschiedener Anwendungen das Potential und den Mehrwert eines kombinierten Ansatzes. Besonderes Augenmerk liegt dabei auf der Identifikation und Extraktion von Merkmalen in beiden Domänen und der Verwendung dieser Merkmale zur Erkennung von bestimmten Objekten.



Frank Boochs und Songül Polat im Hyperspektrallabor,  
Foto: Vanessa Liebler,  
CC BY-SA 4.0



—> Weiter zu den Dissertationen:  
[i3mainz.hs-mainz.de/dissertationen/](https://i3mainz.hs-mainz.de/dissertationen/)

## BRANDT, JULIA

**Denkmal versus Natur? Strategien zum Erhalt der Zitadelle und Festung Mainz im Anwendungsfeld digitaler Dokumentation unter Berücksichtigung des Denkmal- und Naturschutzes**

**Betreuer** Prof. Dr. Kai-Christian Bruhn,  
Prof. Dr. Matthias Müller  
(JGU Mainz)

## HOMBURG, TIMO

**Linked open data for languages written in cuneiform script**

**Betreuer** Prof. Dr. Kai-Christian Bruhn,  
Dr. Hubert Mara (Martin-Luther-  
Universität Halle-Wittenberg)

## PLAß, BASTIAN

**Generierung von BIM-Modellen mit Hilfe multisensoraler Bauwerkserfassung und intelligenter Software-Methoden**

**Betreuer** Prof. Dr. Thomas Klauer,  
Prof. Dr. Uwe Rüppel (Technische  
Universität Darmstadt)

## ROLWES, ALEXANDER

**Visuelle Methoden und Verfahren zur Analyse räumlicher Kontextfaktoren in Smart City Use Cases**

**Betreuer** Prof. Dr.-Ing. Klaus Böhm,  
Prof. Dr. Ralf Dörner  
(Hochschule RheinMain)

## SCHRÖDER, DANIEL

**Qualitätsmanagement für die Implementierung eines LIDAR-gestützten Echtzeit-Assistenzsystems zur Gefahrenabwehr infolge geometrischer Deformationen in Bergbau, an Infrastruktureinrichtungen und natürlichen Objekten**

**Betreuer** Prof. Dr.-Ing. Jörg Klonowski,  
Prof. Dr.-Ing. Jörg Benndorf  
(Technische Universität  
Bergakademie Freiberg)

## ZSCHIESCHE, KIRA

**Algorithmen und Methoden einer modularen bildgebenden Totalstation**

**Betreuer** Prof. Dr. Martin Schlüter,  
Prof. Dr. Alexander Reiterer  
(Albert-Ludwigs-Universität  
Freiburg)

# Transfer in Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft

## Technologietransfer in die Wirtschaft

Nicht selten erzielen Abschlussarbeiten Resultate, die direkt in die praktische Anwendung eines wirtschaftlichen Bereichs einfließen können. Dazu zählt eine Masterarbeit, in der gezeigt wird, wie CNNs (convolutional neural networks), bei denen wenige Trainingsdaten zur Verfügung stehen, erfolgreich aus akademischen Fragestellungen auf praktische Anwendungen übertragen werden können.

Zur besseren Kontrolle der mit Subventionen der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) der EU geförderten Flächen wird an der Einführung eines Flächenmonitoringsystems gearbeitet. Vor allem bei kleinen Flächen ist es nicht möglich, auf Fernerkundungsdaten zurückzugreifen. Eine Alternative besteht darin, von Landwirten aufgenommene Fotografien von Wiesen und Feldern zu klassifizieren.

Im Rahmen der Masterarbeit mit dem Titel *Machine und Transfer Learning zur Klassifikation landwirtschaftlicher Bewirtschaftung* konnte eine Studentin aufzeigen, mit welcher Genauigkeit eine Klassifizierung landwirtschaftlicher Flächen durch Prozesse des Machine Learning und der Computer Vision durchgeführt werden kann.

Abbildung:  
Die künstliche Intelligenz lernt, die Bilder von verschiedenen Anbauflächen zu unterscheiden.  
Svenja Ruthmann,  
CC BY-SA 4.0



—> Weiter zu den Publikationen:  
[i3mainz.hs-mainz.de/publikationen/](https://i3mainz.hs-mainz.de/publikationen/)

Klee ←

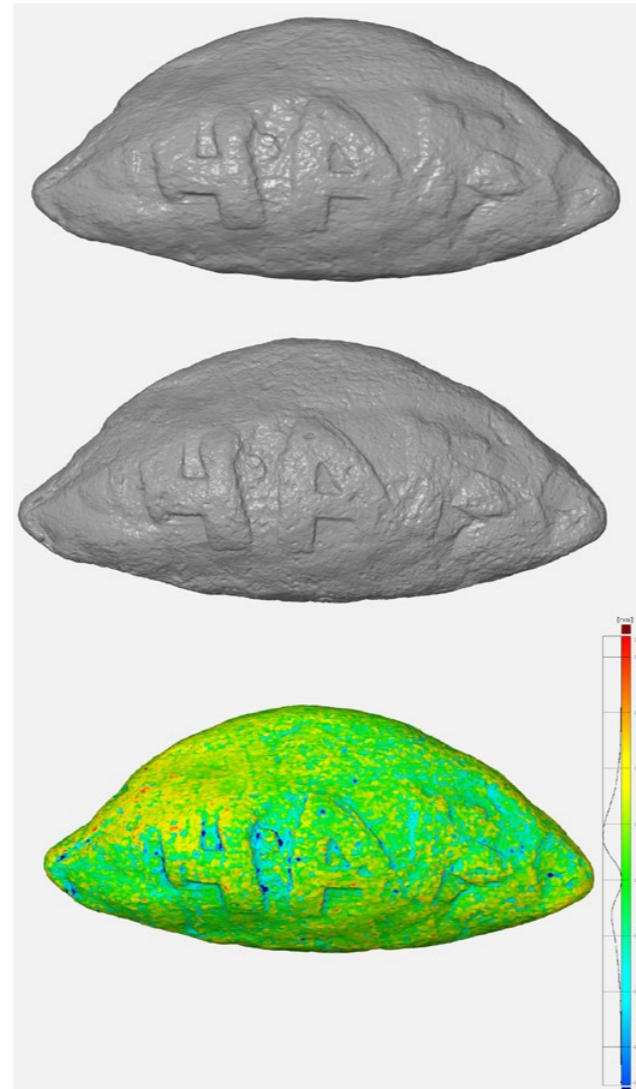


Hafer ←

## Wissenstransfer zwischen den Institutionen: Regional und international

Eine enge Kooperation verbindet das i3mainz seit über 20 Jahren mit dem Römisch-Germanischen Zentralmuseum – Leibniz-Forschungsinstitut für Archäologie (RGZM). Neben gemeinsamen Projekten, wie etwa ARS3D, untersuchen Guido Heinz und Anja Cramer die Anwendung verschiedener Verfahren der digitalen Dokumentation im kulturellen Erbe. Beide Institute unterstützen sich gegenseitig bei der Weiterentwicklung der Methoden und Techniken sowie bei der Anwendung auf neue Fragestellungen. So wurden unter anderem studentische Hilfskräfte für selbstständige Digitalisierungsprojekte sowie deren qualitativer Beurteilung angeleitet. Gemeinsam arbeiteten i3mainz und RGZM an automatisierten Auswerteprozessen bei der Analyse von 3D-Modellen sowie am Aufbau eines Metadatenschemas und eines Ontologiemodells für die Aufnahme und Prozessierung von 3D-Modellen.

Im Zusammenhang mit der Anfertigung wissenschaftlicher Kopien am RGZM verglich ein Student der Fachrichtung Geoinformatik und Vermessung im Rahmen seiner Bachelorarbeit den Aufwand verschiedener Digitalisierungsverfahren. Dabei ging es vor allem um wirtschaftliche Aspekte, u.a. den zeitlichen Aufwand sowie den Aufwand für Transport von Equipment im Verhältnis zu den erzeugten 3D-Daten.



24



Abbildung rechts:  
Alberto Tamajo, Bastian  
Pläß, Thomas Klauer (v.l.n.r.)  
vor der Hochschule Mainz  
i3mainz, CC BY SA 4.0

Abbildung links:  
Schleuderblei Nummer  
O.36100 aus der Sammlung  
des RGZM: Ein Vergleich der  
Aufnahme mit der Methode  
Structure from Motion (oben)  
und mit dem Streifenlicht-  
projektor (mitte). Der Flächen-  
vergleich (unten) macht die  
Abweichungen zwischen den  
beiden Methoden deutlich;  
Bachelorarbeit von Darius  
Minor, 3D-Modellierung  
von Schleuderbleien mittels  
Streifenlichtscanner und  
Photogrammetrie (SfM), CC  
BY-SA 4.0

25

Als Stipendiat von DAAD RISE Germany unterstützte Alberto Tamajo das Projekt *bim4cAlre* am i3mainz. Alberto studiert Computer Science an der University of Southampton und suchte eine Möglichkeit, seine theoretischen Kompetenzen durch einen Aufenthalt am i3mainz zu erweitern. Gemeinsam mit Bastian Pläß und Thomas Klauer arbeitete er an einem Modell, welches unstrukturierte 3D-Punktmengen klassifizieren kann.

Mit Hilfe eines Künstlichen Neuronen Netzes gelang es der Gruppe, einen performanten Klassifikator zu entwickeln, welcher in der Lage ist, 3D-Punktwolken Einrichtungsgegenständen zuzuordnen. Alberto leistete dafür einen entscheidenden Beitrag, indem er die Architektur für den Klassifikator entwarf und für Trainingszyklen auf dem High-Performance Cluster *Elwetritsch* optimierte.

#Transfer

Gemeinsam mit Kollegen der Universitäten Skopje und Belgrad entwickelte und veröffentlichte Timo Homburg einen Compliance Test für den bereits bestehenden GeoSPARQL Standard des Open Geospatial Consortium (OGC). Damit steht erstmals ein zertifizierter Test zur Überprüfung aller Anforderungen des Standards zur Verfügung. Er unterstützt die Weiterentwicklung der für die Umsetzung von GeoSPARQL genutzten Technologien, insbesondere von Triple-Store-Datenbanken. Die Gruppe strebt eine Kooperation mit der OGC zur Standardisierung des Testframeworks an. Auch sollen die Hersteller von Triple Stores dazu motiviert werden, die Konformität ihrer Software-Produkte zum GeoSPARQL Standard zu verbessern.

Der GeoSPARQL Compliance Test soll für in der Entwicklung befindliche Aktualisierungen des GeoSPARQL Standards im Rahmen der GeoSPARQL Working Group erweitert werden. Sie beinhaltet in der Version 1.1 kleinere Korrekturen, neue räumliche Abfrage-Funktionen sowie die Möglichkeit, Geometrien noch detaillierter zu modellieren.

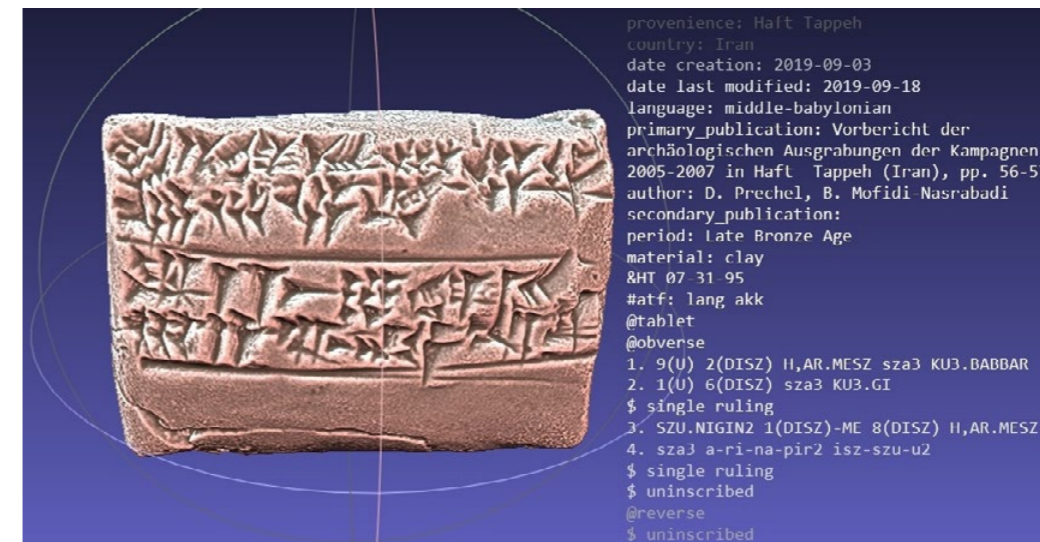
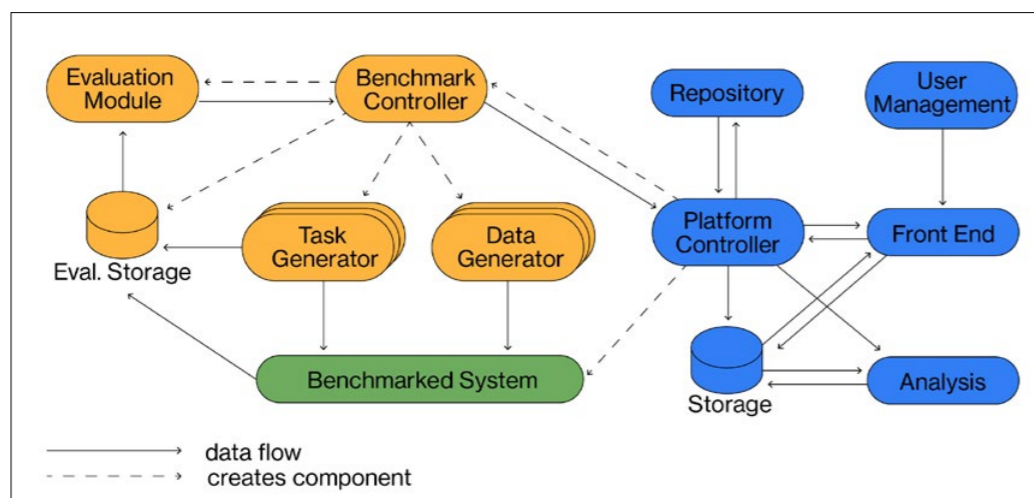


Abbildung links:  
 Die HOBBIT benchmarking platform <https://arxiv.org/abs/2102.06139>,  
 CC BY SA 4.0

Abbildung rechts:  
 3D-Scan einer Keilschrift-  
 tafel mit Transliteration und  
 Metadaten, Foto/©: Haft-  
 TappehProjekt2019

Unter dem Titel *Von analog zu digital: Konzeptionen der Keilschriftforschung im 21. Jahrhundert am Beispiel administrativer Urkunden* leiteten Timo Homburg vom i3mainz, Dr. Eva-Maria Huber und Tim Brandes, beide von der JGU, Ende Februar 2021 einen Workshop für Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftler. Dieser verfolgte das Ziel, die beiden Kleinen Fächer Altorientalistik und Computerlinguistik enger miteinander ins Gespräch zu bringen, verschiedene philologische Bearbeitungsstrategien zu thematisieren und Anreize zur Entwicklung von Hilfsmitteln durch die Informatik zu schaffen.

Finanziert wurde der Workshop durch die Hochschulrektorenkonferenz (HRK) und das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). Diese hatten unter dem Motto *Kleine Fächer: Sichtbar innovativ!* insbesondere Promovierende und frühe Postdocs aus den Kleinen Fächern zur Entwicklung neuer Kommunikations- und Vernetzungsstrategien aufgerufen.

## Transfer in die Gesellschaft

Das i3mainz und die Fachrichtung Geoinformatik und Vermessung richteten auf dem Gelände des Modell Flug Club Nierstein/Oppenheim e.V. ein UAV-Testfeld ein, um das UAV-System des i3mainz unter anderem im Hinblick auf die Qualität der Messdaten zu untersuchen. In diesem Zusammenhang entstanden zwei Masterarbeiten. Die eine Arbeit beschäftigte sich in einer Messung kombiniert aus GNSS und Tachymetrie mit der Anlegung und Bestimmung der Targets sowie Auswertung der Genauigkeiten, in der Anderen wurde der Offset zwischen Kamera und GNSS-Empfänger des Kopters ermittelt. Diese gesuchte Größe ist Voraussetzung für die direkte Georeferenzierung der Bildaufnahmen, welche in einem globalen Koordinatensystem vorliegen.

Mit dem erfolgreichen Abschluss der beiden Masterarbeiten und einem gemeinsamen Tag auf dem Modellflugplatz endete die Zusammenarbeit vorerst.



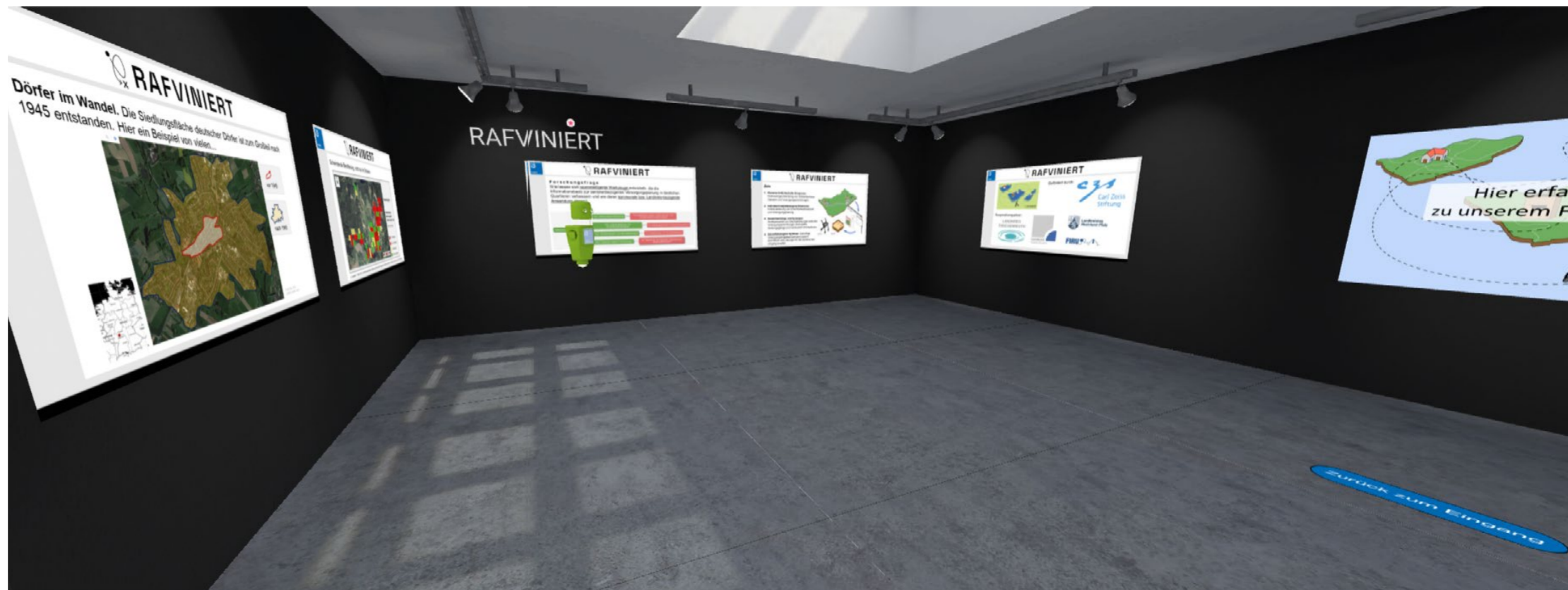
Abbildung links:  
Die beiden Masterstudierenden Linda Staiger und David Kernstock, links im Bild Denise Becker, i3mainz, CC BY-SA 4.0

Abbildung rechts:  
Mit einem Stand in der Altstadt von Goslar suchten die Studierenden das Gespräch mit Passanten, um Hinweise auf Barrieren zu sammeln. Im Bild zu sehen sind Julia Ring und Anna-Maria Kolbe (v.l.n.r.) Foto: Lea Vogel, CC BY SA 4.0

In Zusammenarbeit mit Seniorinnen und Senioren sowie Menschen mit Behinderung aus Goslar identifizierte und kartierte eine Gruppe von Masterstudierenden der Lehrinheit Geoinformatik und Vermessung Barrieren in Goslar. Ziel war es, gemeinsam mit den Anwesenden zwei Kategorien von Barrieren zu kartieren. Unter physischen Barrieren fassten sie etwa Treppen, insbesondere solche mit zu hohen Stufen, zu hohe Bordsteine oder unebenes Pflaster zusammen. Mit subjektiven Barrieren sind Räume des Unwohlseins gemeint, etwa Bahnunterführungen oder Bereiche mit unzureichender Beleuchtung. Ziel des Masterprojektes, welches im Zusammenhang mit dem Projekt RAFVINIERT des i3mainz stand, war, die Erreichbarkeit wichtiger Orte in Goslar für Seniorinnen und Senioren, sowie für Menschen mit Behinderung zu steigern.

Auf dem digital ausgerichteten Wissenschaftsmarkt 2021 präsentierte das i3mainz Mitte September im dreidimensionalen Raum, aber auch mit Videos auf dem Science Sofa verschiedene Projekte. Auch die Demografiewoche Rheinland-Pfalz fand digital statt. Dort suchte das Projekt RAFVINIERT mit unterschiedlichen Formaten den Kontakt zum interessierten Publikum.

Abbildung:  
3D-Raum von RAFVINIERT  
in Mozilla Hubs,  
Foto: i3mainz, CC BY SA 4.0

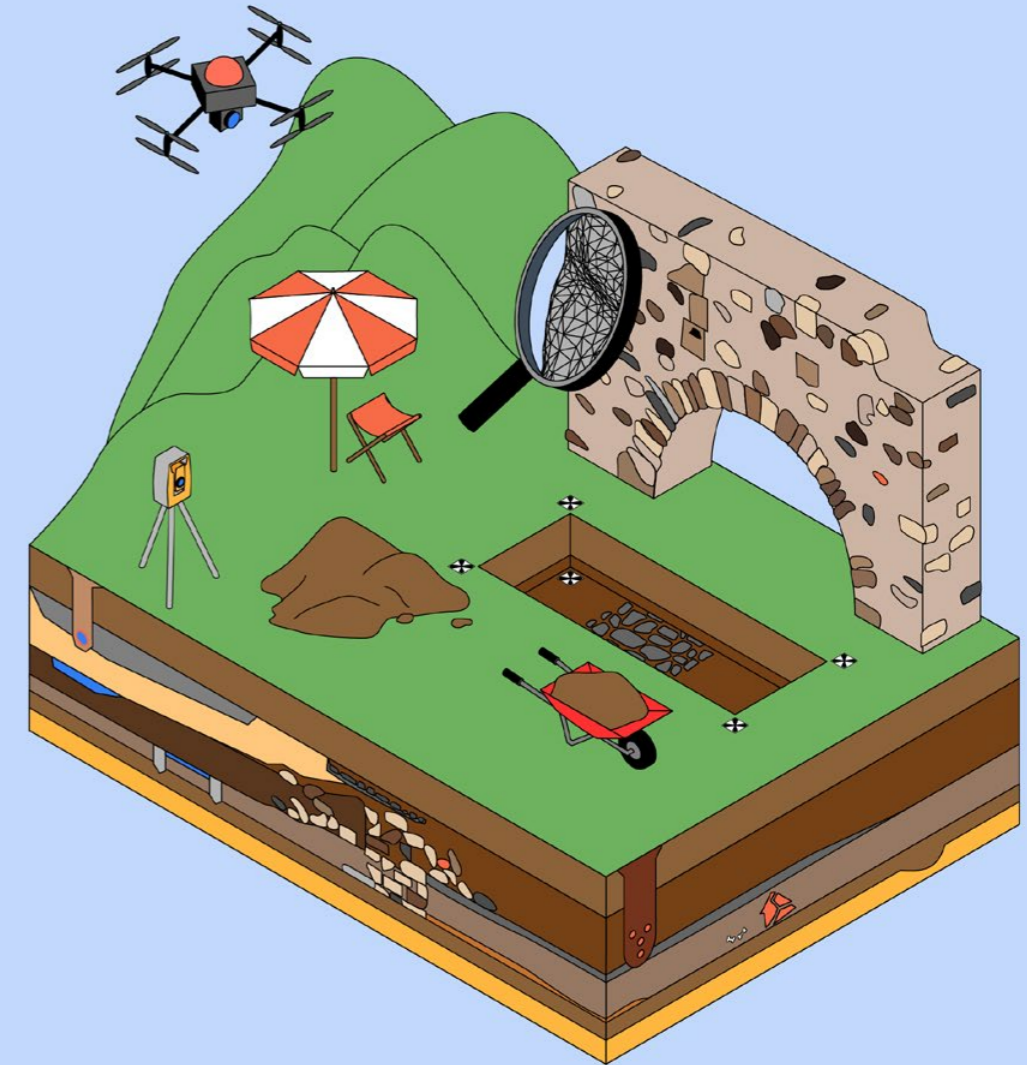




# Kulturelles Erbe: messen, verstehen, bereitstellen

**Kulturelles Erbe umgibt jeden von uns immer und überall. Nicht umsonst stellt die UNESCO das Kulturerbe neben das Naturerbe und schützt es seit 1972 als Welterbe<sup>1</sup>. Musik, Texte, Bilder, Gebäude oder Kleidung sind in Traditionen verankert oder begründen diese. Was vor 50 Jahren jugendliche Subkultur war, ist heute als kulturelles Erbe akzeptiert.**

Grafik: Vanessa Liebler,  
CC BY-SA 4.0



## Kulturerbe ist Welterbe

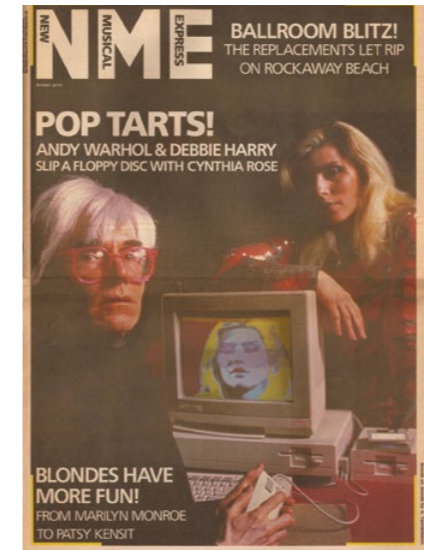
Das kulturelle Erbe umgibt uns aber nicht nur, es ist ein prägender Faktor für das eigene Selbstverständnis. Jeder Mensch erhält seine eigene Identität über ein feines Netz von Bezügen zu regionalen Besonderheiten und die eigene Verortung in der Vielfalt des gesellschaftlichen Lebens. Dialekte, Feste oder Speisen etwa sind Ausdruck dieser Rolle jedes Menschen als Träger des kulturellen Erbes. In freien Gesellschaften ist die Vielfalt solcher ineinander verschränkter Traditionen Ausdruck ihrer Stabilität: Die Menschen loten die Grenzen zwischen trennenden und verbindenden Lebensweisen auch über Unterschiede in den Bezügen zum kulturellen Erbe aus.

Umgekehrt gilt, dass Konflikte grundsätzlich immer auch die Auseinandersetzung um das kulturelle Erbe umfassen (Abb. 1). Verbote der Ausübung kultureller Praktiken oder der Nutzung regionaler Sprachen zeigen im regionalen Maßstab, was die systematische Plünderung von Archiven, Museen und Denkmälern in ultimativen Konflikteskalationen wie Kriegen bewirken sollen: die Vernichtung oder Verschiebung der Identitäten der im Konfliktgebiet lebenden Menschen, bis hin zu deren Deportation als individuelle Trägerinnen und Träger des kulturellen Erbes.

**Wir finden das kulturelle Erbe also auf allen Ebenen: persönliche Bezüge wie Leibgerichte, Dialekte als regionale Anknüpfungspunkte oder Nationalstaaten mit konkretem Rückbezug auf Monumente oder Kriegsschauplätze.**



**Abb. 1** Sonderschutz-Kennzeichnung nach der Haager Konvention zum Schutz von Kulturgut bei bewaffneten Konflikten an der Ruine des Klosters Limburg in Bad Dürkheim. Diese international einheitlich genutzten Markierungen gehen auf einen 1954 geschlossenen, völkerrechtlichlichen Vertrag zurück, der die Bedeutung des Kulturerbeschutzes in Konfliktsituationen verdeutlicht.; Foto: Von Reinhard Dietrich – Eigenes Werk, CC BY-SA 4.0



**Abb. 2** Andy Warhol and Debbie Harry at the Commodore Amiga launch event.; Foto: CC BY-NC 2.0 by John Keogh, Amiga launch. NME 11/1/1986. Blonde on blonde by A. Tannenbaum.

In den vergangenen Jahrzehnten bewirkten vier Entwicklungen eine veränderte Sicht auf den Umgang mit dem Kulturerbe:

**1.** wurde erkannt, dass eine Beschränkung auf das materielle Kulturerbe zu kurz greift und viele wichtige Aspekte unterschlägt. Erst seit etwa 20 Jahren wird der Schutz des immateriellen Kulturerbes international gestärkt und 2013 ist auch Deutschland dem *UNESCO-Übereinkommen zur Erhaltung des Immateriellen Kulturerbes* beigetreten. Seither können unter anderem auch Bräuche, Ausdrucksformen, Wissen und Fertigkeiten als Welterbe geschützt werden<sup>2</sup>.

**2.** haben Ergebnisse kulturwissenschaftlicher Forschung die bisher völlig unterschätzte Bedeutung der Interaktion mit dem Kulturerbe aufgezeigt. Das *Kulturelle Gedächtnis* ist inzwischen als Wissenschaftsfeld anerkannt und verdeutlicht, wie viele Bezüge zwischen dem Heute und der Vergangenheit übersehen wurden<sup>3</sup>.

**3.** sind kulturelle Ausdrucksformen zunehmend ausschließlich digital: Kurz nach der Erfindung der ersten Computer wurde mit ihnen auch künstlerisch gearbeitet. Als Andy Warhol 1985 das Werbebild der Computerfirma Commodore wurde, griff er mit seinen digitalen Bildmanipulationen eine Entwicklung auf, die in den 1950er Jahren ihren Ursprung hatte (Abb. 2). Gleichzeitig zeigt die aufwändige Rekonstruktion seiner Arbeiten, die nur auf Disketten in einem Museum existierten, welche Herausforderungen auf den Schutz des digitalen kulturellen Erbes warten<sup>4</sup>.

**4.** eröffnen die Technologien der Digitalisierung seit den 1990er Jahren andere Formen der Sicherung, Bereitstellung und der Interaktion mit Objekten des materiellen und immateriellen Kulturerbes. In der analogen Welt sind die sogenannten Gedächtnisorganisationen die Bewahrerinnen des kulturellen Erbes. Museen, Archive und Bibliotheken sind die Orte des Erhaltens und des Aufhebens. Ihre

Aufgabe ist es, den Menschen ein Angebot zu machen, eigene Bezüge zu verstehen und Zugang zu anderen Kulturen und deren Ausdrucksformen anzubieten. Diese Aufgabenfelder müssen in eine digitale Welt übertragen werden<sup>5</sup>. Dabei tritt das digitalisierte an die Seite des digitalen kulturellen Erbes, wie es Andy Warhol und viele andere hinterlassen haben.

## Kulturerbe und die Hochschule Mainz

Die Hochschule Mainz ist in allen vier genannten Bereichen der Interaktion mit dem kulturellen Erbe in Forschung und Transfer präsent. Das Institut für Mediengestaltung etwa kuratierte die digitalen Spuren des Projekts *Piazza Virtuale* von der documenta 1992<sup>6</sup> und im Designlabor Gutenberg sind zahlreiche Projekte verankert, die digitale Zugänge zu Tanz oder Typographie entwickeln<sup>7</sup>. Auch das Architekturinstitut widmet sich mit virtuellen Rekonstruktionen und Modellen einem bedeutenden Ausschnitt des kulturellen Erbes<sup>8</sup>. Die kulturhistorische Verortung und geisteswissenschaftliche Ausdeutung des Kulturerbes wird durch enge Kooperationen mit herausragenden Partnerinstitutionen betrieben. In der Region haben sich die in Mainz ansässigen Leibniz-Institute, die Akademie der Wissenschaften und der Literatur sowie die Johannes Gutenberg-Universität Mainz (JGU) und in ihr angesiedelte Institute zu dem Netzwerk mainzed – Mainzer Zentrum für Digitalität in den Geistes- und Kulturwissenschaften zusammengeschlossen<sup>9</sup>, das dieses auch unter dem Schlagwort *Digital Humanities* bekannte Forschungsfeld aktiv betreibt.

Das i3mainz trägt den Raumbezug in seinem Namen und deckt damit Kompetenzen in zwei zentralen Aspekten des kulturellen Erbes ab: Neben der digitalen Erfassung der Objekte ist ihre Verortung auf der Erdoberfläche und die Kontextualisierung der räumlichen Zusammenhänge Voraussetzung für das Verständnis und den Schutz der Kulturgüter.



**Abb. 3** Messungen mit einem GNSS in der Region um Bisenzio während der Kampagne im Jahr 2015;  
Foto: i3mainz, CC BY-SA 4.0



**Abb. 4** Bisenzio: WebGIS mit Ansicht verschiedener Informationsebenen, darunter ein aus Fernerkundungsdaten abgeleitete Geländere relief im Bereich des vermuteten antiken Stadtgebiets.

Ausgangspunkt der Aktivitäten am i3mainz ist die bis heute lebhafteste Kooperation mit dem Römisch-Germanischen Zentralmuseum – Leibniz-Forschungsinstitut für Archäologie (RGZM), die zunächst die Übertragung messtechnologischer Expertise auf die dreidimensionale Erfassung von archäologischen und musealen Objekten umfasste<sup>10</sup>. Hinzu trat bald auch die gemeinsame Entwicklung von IT-Lösungen für die Auswertung und Visualisierung der gewonnenen Daten und die Ausweitung auf die messtechnische Begleitung von Ausgrabungen und landschaftsarchäologischen Untersuchungen mit vielen weiteren Partnern aus dem In- und Ausland (Abb. 3 + 4).

Entsprechend der oben skizzierten Entwicklung befasst sich das i3mainz zunehmend mit der Wissensmodellierung, um auch Bezüge zum immateriellen Kulturerbe zu bewahren und engagiert sich umfassend in Fragen der Bereitstellung und Verknüpfung der Datenbestände, damit diese nicht in Datensilos verschwinden, sondern der wissenschaftlichen Analyse genauso zur Verfügung stehen, wie der breiten Öffentlichkeit für die Auseinandersetzung mit dem kulturellen Erbe im digitalen Raum.

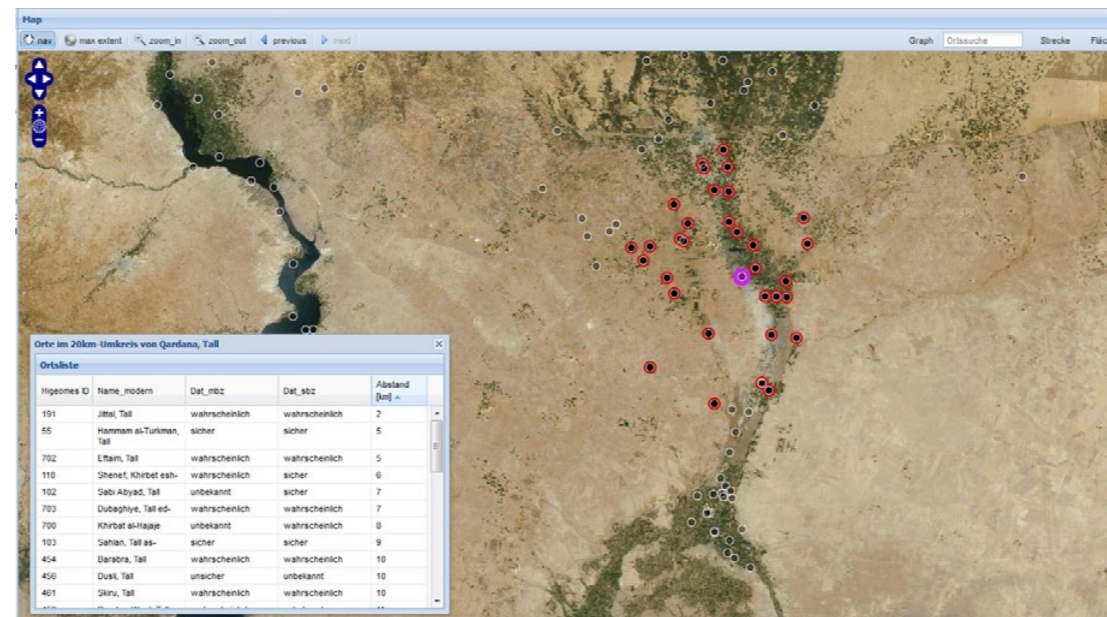
## Datenerfassung: Analoge und digitale Originale

Unabhängig davon, ob es um kleine Münzen, große Reliefs, Wanddekorationen oder ganze Gebäude und Ausschnitte aus einer Landschaft geht: Die Weiterentwicklung der Vermessungstechnologien hat die Möglichkeiten von deren Erfassung revolutioniert.

Satellitentechnologien erlauben eine schnelle, relativ genaue Bestimmung des Standorts auf der Erdoberfläche mit GNSS (Abb. 3). Gleichzeitig erfassen andere Sensoren immer detaillierter Informationen über den Zustand der Erdoberfläche, wie deren Bewuchs, Bodenfeuchte oder Geländereiefs (Abb. 4). Hinzu treten in vielen Ländern erdnahe Befliegungen mit Laserscannern, die die Geometrie der Erdoberfläche hochgenau erfassen (sog. LIDAR-Daten) und mit entzerrten Luftbildern ergänzen, wie wir alle sie inzwischen aus diversen Kartenanwendungen im World Wide Web (WWW) kennen (Abb. 5).

Mit terrestrischen Laserscannern (TLS) stehen Systeme zur Verfügung, die das Umfeld des Standorts bis zu einigen hundert Metern innerhalb weniger Minuten in Millionen einzelner Punkte mit 3D-Koordinaten auflösen (Abb. 6+7). Wie so viele andere Technologien sind auch diese Sensoren zwischenzeitlich mobil einsetzbar, so dass eine Erfassung während der Fortbewegung neue Einsatzbereiche auch in Innenräumen erschließt. Die neueste Generation mobiler Tablets verfügt über verwandte Technologien, so dass die 3D-Erfassung der Umwelt in Echtzeit möglich ist.

Für die hochgenaue Erfassung von Oberflächen in kleineren Ausschnitten, die Details im sub-Millimeter-Bereich liefern, stehen besondere Geräte und Methoden zur Verfügung, die häufig mit auf die Gegenstände projizierten Lichtmustern arbeiten, etwa das 3D-Scanning mit Streifenlichtprojektion (Abb. 11). Nicht zu vergessen ist schließlich die digitale Fotografie, die Ausgangsdaten für Anwendungen wie Structure from Motion (SfM), also die Ableitung von 3D-Modellen aus einer Serie



**Abb. 5** Virtuelle Forschungsumgebung von TexTelSem mit der Anzeige eines Suchergebnisses nach einer Abfrage aller bekannten Fundorte im Umkreis von 20 km um Tall Qartana



**Abb. 6** Terrestrisches Laserscanning im Außenbereich der Michaeliskirche in Hildesheim; Foto: i3mainz, CC BY-SA 4.0

von Fotos eines Objekts erlaubt.

Diese Messtechnologien wurden alle nicht für die Dokumentation des kulturellen Erbes, sondern für industrielle Anwendungen entwickelt, weshalb ein kompetenter Umgang und tiefes Verständnis der Technologie unbedingte Voraussetzung für ihre Überführung in andere Anwendungsszenarien ist. Im i3mainz sind diese Kompetenzen unter einem Dach versammelt: Die ingenieurs-wissenschaftliche Auseinandersetzung mit den Technologien in vielen industrienahen Projekten ist Voraussetzung für die adäquate Anwendung in der Dokumentation des kulturellen Erbes.

Die Messergebnisse sind der Ausgangspunkt einer Datenwanderung, an deren Ende ein besseres Verständnis der Objekte und ihrer Zusammenhänge steht. Für die wissenschaftliche Auswertung der digitalen Ausgangsdaten ist das Verständnis ihres Entstehungsprozesses besonders wichtig, da die Digitalisierung immer Informationsverlust bedeutet.

**Begriffe wie digitaler Zwilling suggerieren ein fatales Missverständnis des Digitalisats als einer Art Entsprechung, obwohl alle Messverfahren neue Informationen generieren, welche aus Signalen gebildet werden, die an der realen Oberfläche entstehen und stichprobenhaft aufgezeichnet und verarbeitet werden. Die Wahrnehmung des Digitalisats als kleiner Bruder »Kopie« der großen Schwester »Original« wird den Herausforderungen und Leistungen, die an der Schnittstelle der Digitalisierung zu bewältigen sind, nicht gerecht. Die Digitalisate sind digitale Originale, die in einem messtechnischen Verhältnis zum realweltlichen Objekt stehen. Sie haben einen eigenen Wert, besondere Potentiale und selbstverständlich auch Defizite. Das i3mainz sieht in ihnen den Gegenstand einer besonderen wissenschaftlichen Verantwortung: der Versorgung der Kulturerbe-Forschung mit wissenschaftlich verwertbaren digitalen Daten und die Entwicklung von Werkzeugen für deren Auswertung und Bereitstellung.**

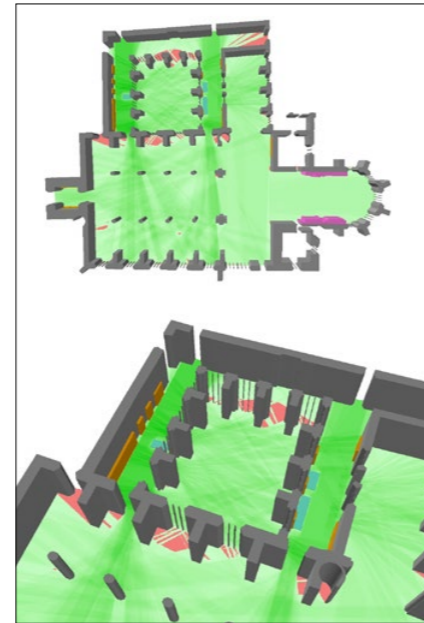
**Abb. 7** Ein Ergebnis der Vermessungsarbeiten an der Michaeliskirche in Hildesheim. Zusammengeführte Punktwolken von vielen Standpunkten, die in- und außerhalb des Gebäudes gemessen wurden.



## Landschaften

Großflächige Digitalisierungsvorhaben sind nur im Ausnahmefall mit eigener messtechnischer Datenerhebung verbunden. Informationen zu archäologischen Fundorten und historischen Landschaften müssen zusammengetragen und digital so aufbereitet werden, dass sie wie einzelne Ebenen einer Karte übereinander geschichtet werden können (Abb. 4 + 5). Jede dieser Ebenen repräsentiert eine Informationsschicht, die mit Geographischen Informationssystemen (GIS) ausgewertet werden können. Die Koordinaten in der digitalisierten Karte entsprechen dann geographischen Koordinaten auf der Erdoberfläche, die mit terrestrischen Messverfahren in der realen Welt bestimmt werden können.

Ein erstes Beispiel dafür führt uns nach Latium, nördlich von Rom zum Monte Bisenzio am Bolsena See bei Capodimonte. Das i3mainz unterstützte ein archäologisches Projekt der JGU und des RGZM in einer oberirdisch annähernd restlos verschwundenen etruskischen Metropole. Für die geophysikalischen Voruntersuchungen und die darauf aufbauenden systematischen Begehungen mit dem Aufsammeln und Bestimmen von Lesefunden auf der Oberfläche benötigte das Projekt einen zuverlässigen geodätischen Bezugsrahmen, der eine genaue Bestimmung jedes Standorts in dem annähernd 1,5 km<sup>2</sup> großen Stadtgebiet ermöglicht (Abb. 3). Zur Vorbereitung der eigenen Arbeiten, insbesondere aber der archäologischen Surveys, sammelte das i3mainz vorhandene digitale Datenbestände und integrierte sie in einem GIS, das über eine Web-Schnittstelle allen Beteiligten zur Verfügung stand (Abb. 4). Darin waren alte Katasterpläne und aktuelle Geländemodelle mit einer Reihe von Luftbildaufnahmen in einem räumlichen Bezugssystem zusammengeführt, so dass die Kartenebenen ausgewechselt und Informationen einheitlich zusammengefasst werden konnten. So wurden Felder identifiziert, die heute dem Getreideanbau dienen, vor 20 Jahren aber noch mit Olivenbäumen bepflanzt waren, die heute spurlos verschwunden sind. Für die archäologische Untersuchung dieser Felder war also vorauszusetzen, dass es



**Abb. 8** Nach Anzahl der sichtbaren Inschriftenträger klassifizierte Visualisierung in der Stiftskirche Öhringen. Je grüner die Einfärbung, desto mehr Inschriften sind von der Position im Raum sichtbar. Die heute im Kreuzgang (oben) entlang der Wände aufgestellten Grabplatten erzeugen einen Schwerpunkt der Sichtbarkeiten in diesem Bereich; Grafik: i3mainz, CC BY-SA 4.0



**Abb. 9** Online-Anwendung SpatialViewer mit texturierter Punktwolke und annotierten 3D-Objekten im Innenraum der Liebfrauenkirche in Oberwesel; Foto: i3mainz, CC BY-SA 4.0

bei der Rodung der Bäume zu erheblichen Eingriffen in den Boden gekommen sein muss, was für die Interpretation der Verteilung der Lesefunde auf dem Feld erhebliche Bedeutung haben kann.

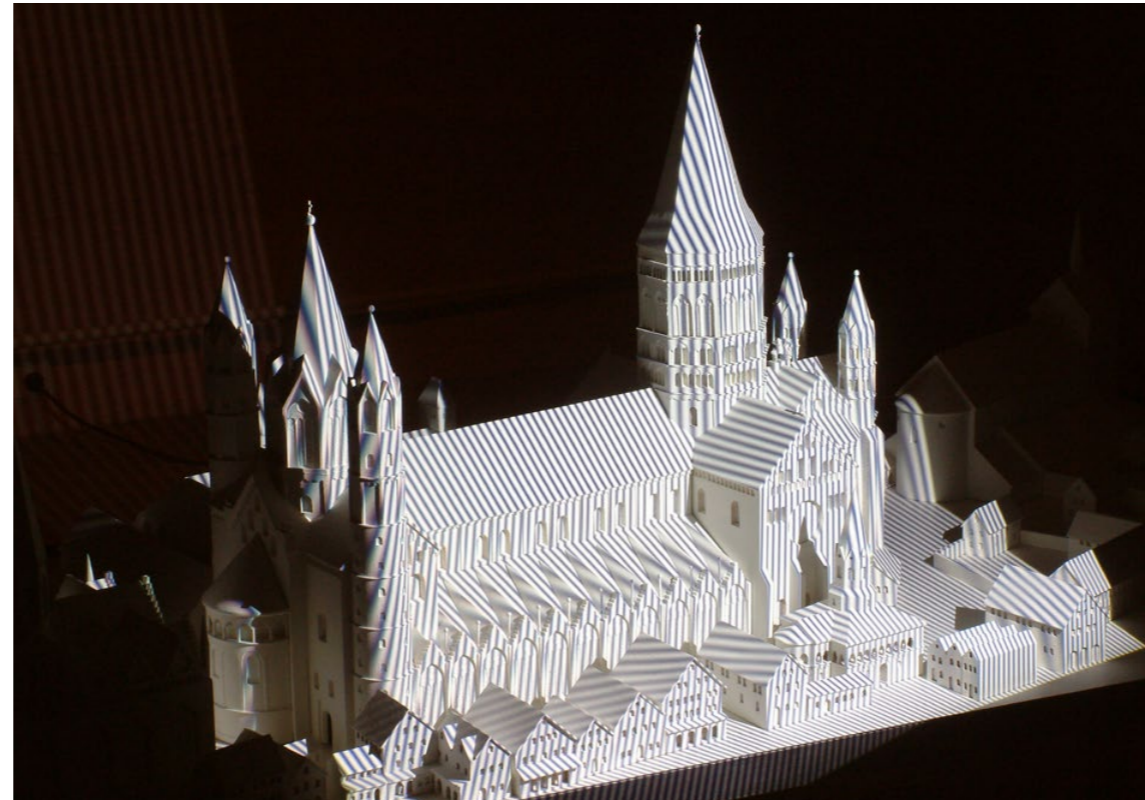
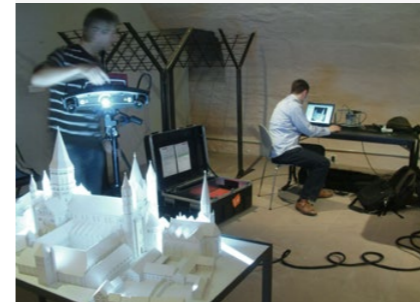
Für zwei weitere, aufeinander aufbauende Projekte hat das i3mainz ebenfalls GIS-Lösungen entwickelt (Abb. 5). Der Maßstab war um ein Vielfaches größer: das Untersuchungsgebiet umfasste das gesamte sogenannte Obermesopotamien, also die Landschaft zwischen Euphrat und Tigris im heutigen Syrien, Nord-Irak und Iran sowie Teilen der Türkei. Aus diesem Gebiet sind aus der Zeit zwischen 1800 und 1600 v. Chr., also der Zeit des Aufstiegs der bekannten Stadt Babylon unter dem Herrscher Hammurabi und der Eroberung der Stadt durch die Hethiter, viele Ortsbezeichnungen aus Texten bekannt, nicht aber deren Lage. Andererseits können fast 1000 archäologische Fundorte in dem Gebiet diesem Zeitraum zugeordnet werden. In den Projekten HiGeoMes und TexTelSem wurde mit Partnern in Deutschland und Frankreich daher versucht, die in den Texten vorhandenen geografischen Informationen, etwa die Reisezeit von einem Ort zu einem anderen, aufzubereiten. Aus diesen komplexen und vagen Beziehungen kann der Computer Vorschläge für Identifizierungen archäologischer Fundplätze mit in den Texten genannten Toponymen berechnen.

## Gebäude

Das terrestrische Laserscanning bietet seit ungefähr 20 Jahren eine vorher nicht gekannte Möglichkeit, die Umgebung des Messgeräts in eine Vielzahl von digitalen 3D-Punkten sog. **Punktwolken** aufzulösen. Der Einsatz dieser Technologie hat daher vor allem der Dokumentation von Architektur eine neue Grundlage gegeben. Das i3mainz begleitete die Entwicklung dieser Technologie von Beginn an und entwickelte in Kooperation mit den Herstellern Prüf- und Kalibriermethoden für die Sensoren. Mit diesem Erfahrungsschatz konnte das Institut in einer Reihe von Projekten die Dokumentation von Überresten des kulturellen Erbes mit TLS in ganz verschiedenen Kontexten und in vielen Ländern der Welt unterstützen.

In Kooperation mit der Akademie der Wissenschaften zu Göttingen und der Akademie der Wissenschaften und der Literatur Mainz startete das i3mainz 2011 das Projekt *DIO-3D*, aus dem das vom BMBF geförderte Projekt *IBR Inschriften im Bezugssystem des Raumes* entwickelt wurde. DIO steht für Deutsche Inschriften Online, eine webbasierte Bereitstellung von deutschsprachigen epigraphischen Zeugnissen aus dem Zeitraum vom Frühmittelalter bis zum Jahre 1650, das sich aus dem seit Jahrzehnten betriebenen Forschungs- und Editionsprojekt *Die Deutschen Inschriften* speist. Im Fokus der epigraphischen Erforschung einer Inschrift steht der Text, die genannten Orte, Daten und Personen, der Anlass und Details zu Sprache und Schrift. Tatsächlich aber wird die Bedeutung einer Inschrift und ihre Interpretation erst vollständig verständlich, wenn der räumliche Kontext der Aufstellung oder Anbringung mit in Betracht gezogen und in das Verhältnis zur Umgebung gesetzt wird. Die Grabplatte in der Nähe des Altars sagt etwas aus über die gesellschaftliche Stellung der bestatteten Persönlichkeit. Die Anbringung entlang eines bestimmten Prozessionsweges macht Anspielungen in der Formulierung der Inschrift manchmal erst verständlich.

Für vier Kirchenbauten in Deutschland hat das i3mainz die Erfassungsarbeiten durchgeführt, um Konzepte für



**Abb. 10 + 11** 3D-Erfassung historischer Modelle des Mainzer Doms mit dem Streifenlichtscanner. Zwei Mess-Kameras mit einem Projektor, der Streifenmuster auf das Modell projiziert. Mit dieser Kombination aus Photogrammetrie und kodierten Mustern kann das System auf Bruchteile eines Millimeters das Objekt erfassen.

die systematische Analyse der Verortung von Inschriften in ihrer räumlichen Umgebung zu erarbeiten (Abb. 6). Neben der Datenaufbereitung und -bereitstellung wurden dafür raumbezogene Auswerteverfahren auf die geisteswissenschaftlichen Fragestellungen übertragen. Sichtbarkeitsanalysen, üblicherweise etwa für die Standortsuche von Funkmasten und Windrädern entwickelt, dienen der Auswertung von Sichtbarkeiten der Inschriftenträger im Kirchenbau (Abb. 8).

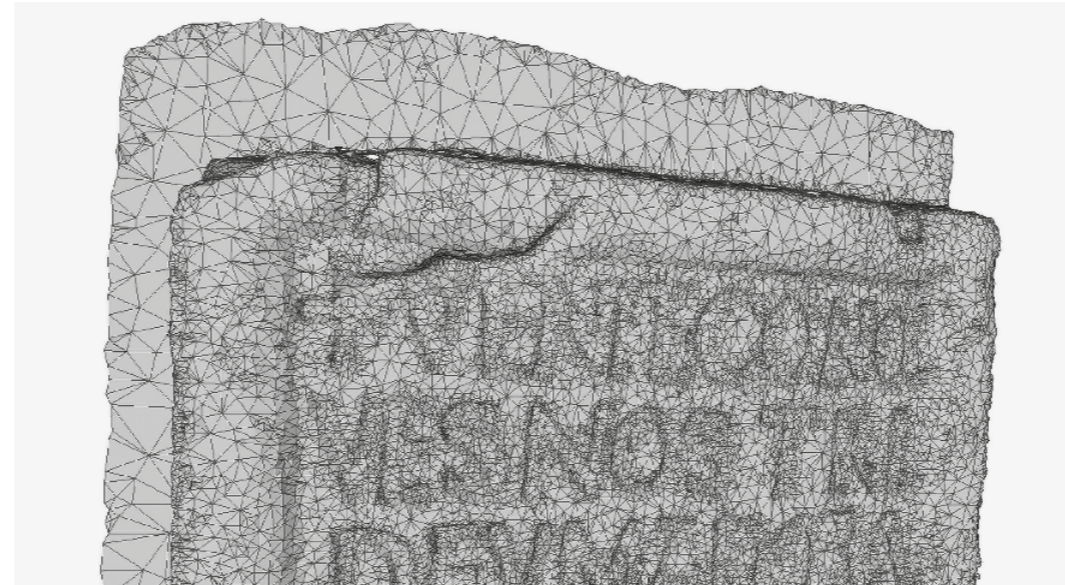
Voraussetzung für diese Analysen ist die Verknüpfung von Ausschnitten der Punktwolke mit den Informationen über die darin abgebildete Inschrift. Diese Informationen liegen auf der Webseite des DIO-Portals bereits vor. Benötigt wird also eine digitale Linie, die den Ausschnitt umgibt und mit den Angaben im Inschriften-Portal in Verbindung steht. Für die Lösung sind zwei Konzepte grundlegend: die Verknüpfung eines Datenausschnitts mit spezifischen Informationen wird Annotation genannt. Das Annotieren von Texten und Bildern ist für sprach- oder bildwissenschaftliche Anwendungen etabliert. Verfahren der Bilderkennung mit künstlicher Intelligenz bauen auf Datensätze auf, die mit annotierten Inhalten trainiert werden. Außerdem muss die Verknüpfung so gestaltet sein, dass der Computer diese auswerten kann. Sie muss also maschinenlesbar sein. Ein Werkzeug, um diese Funktionalität auch für die Annotation in 3D-Punktwolken zur Verfügung zu stellen, hat das IBR-Projekt mit dem SpatialViewer realisiert (Abb. 9). Mit ihm wurden auch Daten, die in anderen TLS-Projekten erfasst wurden, ausgewertet – so etwa der jüdische Gedenkfriedhof in Mainz, die Südhalle im Heiligtum von Olympia und Mühlen in Ephesos.

## Objekte

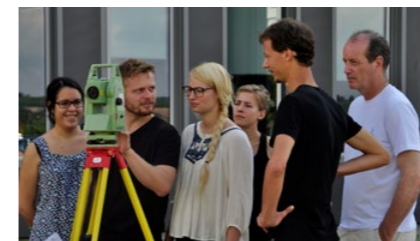
Einzelne, kleinerformatige Objekte des Kulturerbes stellen andere Anforderungen an deren digitale Dokumentation. Sie sind nicht an einen Ort auf der Erdoberfläche gebunden, sondern werden mitunter weit weg von ihrer Herkunft aufbewahrt. Sie sind mobil und nicht wie ein Gebäude oder eine Höhle eindeutig an einem Ort referenzierbar. Die Geodäsie als Wissenschaft der Landvermessung stellt für diese Georeferenzierung alle notwendigen Grundlagen zur Verfügung, bietet aber auch für die Messtechnik als solche Lösungen an.

Für die Digitalisierung einer bemalten Leinwand, eines Reliefs, einer Büste oder einer Münze müssen Technologien zum Einsatz kommen, die ein viel detaillierteres digitales Original aus dem Objekt ableiten. Diese Technologien erzeugen im Ergebnis allerdings auch eine Punktwolke, wie das TLS, so dass eine Reihe von Prozessierungsschritten die gleichen sind. Die Generierung eines 3D-Modells aus Punktwolken, das den Ansprüchen an die Visualisierung oder einen 3D-Druck genügt, ist sehr aufwändig. Häufig muss das Objekt aus mehreren Perspektiven gescannt werden, um es vollständig zu erfassen. Die so entstehenden Punktwolken müssen zu einer einheitlichen zusammengeführt werden, die sog. Registrierung. Die Punkte können eingefärbt werden, sodass bei ausreichender Dichte der Punktwolke im menschlichen Auge der Eindruck einer vollständigen digitalen Abbildung des Objekts entsteht (Abb. 7).

Für den Rechner besteht eine solche Datei aber weitestgehend aus den Leerräumen zwischen den Punkten. Er kann nicht zwischen Innen- und Außenseite eines Objekts unterscheiden. Dafür müssen Flächen berechnet werden, die die Punkte entlang der gemessenen Oberfläche miteinander verbinden, was in den meisten Fällen durch eine sog. Vermaschung mit Dreiecken erreicht wird (Abb. 12). Diese auch *meshes* genannten 3D-Digitalisate erlauben dann auch einen analytischen Zugriff auf das Objekt. So etwa kann das Volumen berechnet oder Schriftzeichen, die in die Objekt-Oberfläche eingearbeitet sind, untersucht werden. Außerdem bieten die Dreiecke die Möglichkeit, Farbinformationen



**Abb. 12** Ausschnitt der vermaschten Punktwolke einer Inschrift aus der Michaeliskirche in Hildesheim



**Abb. 13** Workshop mit den Partnern des Heliopolis-Projekts von der Universität Leipzig an der Hochschule Mainz.  
Foto: Kai-Christian Bruhn, CC BY-SA 4.0

auf das 3D-Mesh zu übertragen, so dass die Abbildung auf dem Bildschirm dem analogen Objekt visuell möglichst gut entspricht.

Die Erfassungstechnologien für einzelne Objekte sind vielfältig, setzen im Kern aber fast alle auf eine Kamera als Sensor. Zwei speziell für diese Verfahren der Photogrammetrie kalibrierten Kameras in einem bekannten Abstand zueinander lassen die Berechnung von 3D-Koordinaten für jeden einzelnen Pixel in den Bildern zu. Beim Streifenlichtprojektionsscanning wird die Erfassung der Oberfläche in höchsten Details durch eine oder mehrere Kameras durch die Projektion eines kodierten Musters auf die Objektoberfläche unterstützt (Abb. 10). Dadurch werten die Sensoren tatsächlich nur die Geometrie der Oberfläche aus, die Kameras machen also keine Farbfotos im herkömmlichen Sinne, weshalb die gewonnenen digitalen 3D-Modelle *nackt* sind und für die Darstellung auf dem Bildschirm eingefärbt werden müssen; sie haben keine *Textur* so der Fachbegriff.

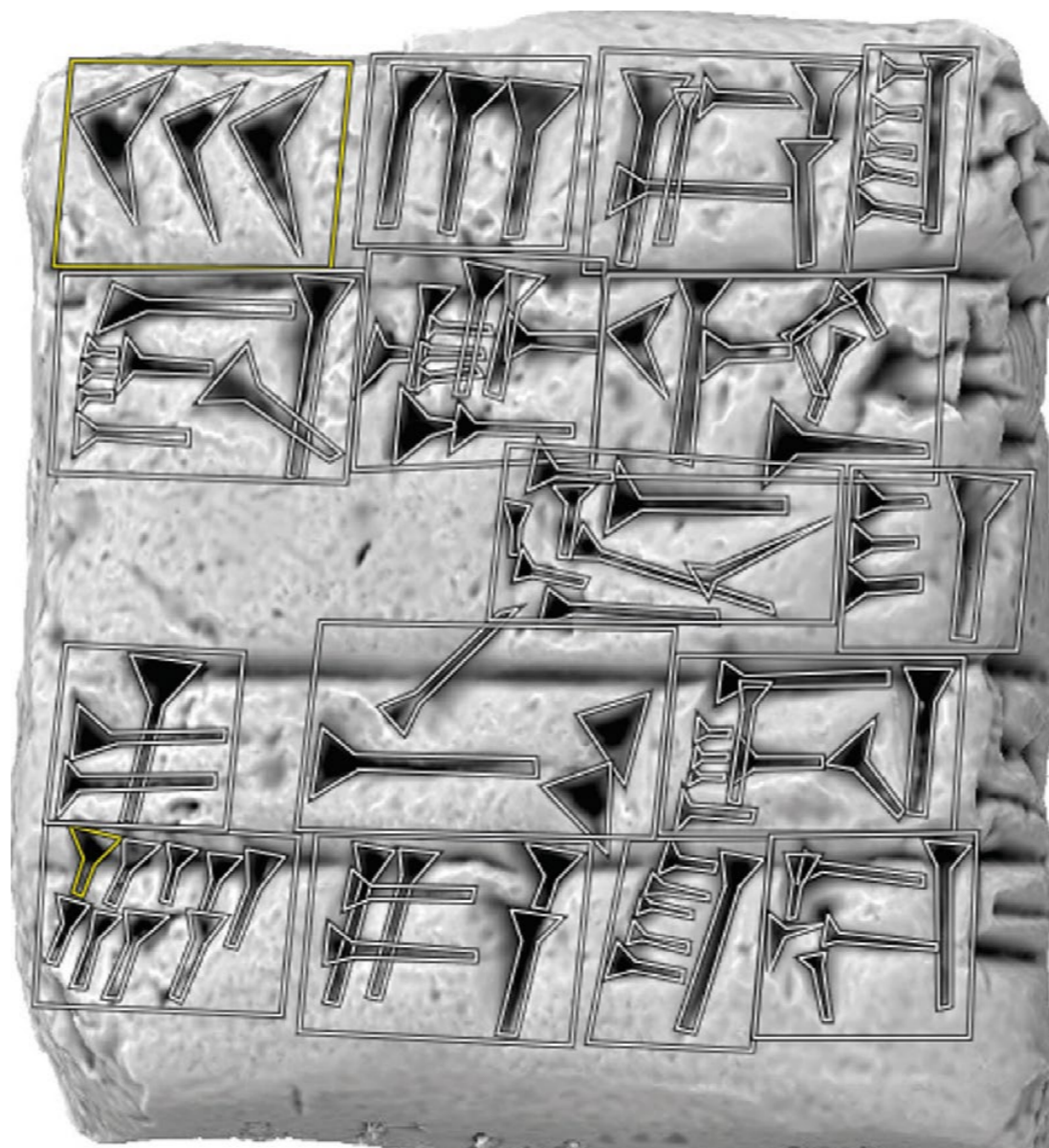
Die bisher genannten Erfassungstechnologien sind durch die Digitalisierung der Messverfahren erst möglich geworden. Digitalisierung meint in diesem Zusammenhang, dass die Sensoren Daten direkt in digitale Information umwandeln und die stetig wachsende Rechenleistung der Computer immer umfangreichere Auswertesoftware ermöglichen. Diese Entwicklung kennen wir aus der Digitalisierung der Fotografie. Aus Filmrollen, die in die Kameras eingelegt werden mussten, wurden Speicherkarten, die das Bild direkt vom Sensor in der Kamera speichern. Moderne Kameras sind leistungsstarke Computer, in die eine Reihe von Bildverarbeitungsprogrammen eingebaut sind. So wurden normale Kameras zu Messsensoren und es dauerte nicht lange, bis dieses Potential von der Wissenschaft aufgegriffen wurde. Die Disziplin *Computer Vision*, also das computerbasierte Sehen, hat dadurch enormen Auftrieb bekommen und gehört inzwischen zu den Kompetenzen des i3mainz. Aus einer Kombination von Computer Vision und Photogrammetrie ist im letzten Jahrzehnt ein Verfahren in die breite Anwendung gelangt, welches es heutzutage jedem Menschen erlaubt,



digitale 3D-Objekte mit dem Smartphone zu generieren: Structure from Motion (SFM) verkehrt den photogrammetrischen Prozess quasi ins Gegenteil. Aus einer Reihe von überlappenden Fotos, die von einem Objekt aus unterschiedlichen Positionen aufgenommen werden, errechnet eine Software zunächst Punkte in den unterschiedlichen Bildern, die den identischen Bereich auf der Objektoberfläche bezeichnen. Aus diesen Angaben kann die relative Position der Kameras zueinander rekonstruiert werden. Aus diesen virtuellen Standpunkten werden dann photogrammetrisch einzelne Punkte zu einer Punktwolke berechnet. Gleichzeitig entsteht durch die Fotos die Möglichkeit, die Textur auf die Punktwolke oder deren Vermaschung zu übertragen.

SFM erlaubt es, auch unter Bedingungen, die für den Einsatz aufwändiger Messtechnologie wie TLS oder Streifenlichtscanning weitestgehend ungeeignet sind, 3D-Digitalisate zu erstellen. Insbesondere der Einsatz in schlecht zugänglichen Regionen mit unzureichender Stromversorgung oder ungünstigen Umweltbedingungen (Regen, Staub) ist unwirtschaftlich. Aber auch mitten in einer Metropole wie Kairo kann SFM als Digitalisierungsmethode die geeignetste Wahl sein.

In zwei Projekten im Kairener Stadtteil Matariya unterstützt das i3mainz die Kooperationspartner bei den archäologischen Untersuchungen von Heliopolis, eines der bedeutendsten altägyptischen Heiligtümer, von dem im heutigen Stadtbild nur noch ein Obelisk zu sehen ist. Die urbane Überbauung des antiken Tempelgeländes fördert allerdings immer wieder zahlreiche Fragmente der ehemaligen kolossalen Bebauung zu Tage. Diese müssen wegen der rasant fortschreitenden Bauarbeiten so schnell wie möglich für die wissenschaftliche Auswertung erfasst werden, bevor sie in den Magazinen der Antikenverwaltung sicher verwahrt werden. SFM bietet sich hier wegen der flexiblen Einsatzmöglichkeiten an und ist zudem auch in Schulungen allen Mitarbeitenden im Projekt gut zu vermitteln (Abb. 13). Die Aufgabe des i3mainz besteht hier also in der Gewährleistung ausreichender Datenqualität durch die Erarbeitung von angepassten Arbeitsabläufen für spezifische Szenarien der Erfassung von Objekten des



**Abb. 14** 2D-Annotationen von Keilschriftzeichen und Keilschriftkeilen auf der Vorderseite der Keilschrifttafel HS 1174; Quelle: <https://openarchaeologydata.metainl.com/articles/10.5334/joad.92/>

kulturellen Erbes, so dass diese auch virtuell ausgewertet werden können.

Die wissenschaftliche Bearbeitung von archäologischen Materialien kann auf die Autopsie des analogen Originals nur in Ausnahmefällen verzichten. Eine derartige Ausnahme begleitet das i3mainz im Rahmen der *Digitalen Edition der Keilschrifttexte aus Haft Tappeh (Iran)*. Wegen der Bedingungen der vergangenen Jahre waren geplante Überprüfungen an den originalen Keilschrifttafeln im Museum im Iran nicht möglich. Die Lesung der Tafeln musste daher ganz auf Grundlage von 3D-Daten geleistet werden, die schon 2018 mit einem Streifenlichtscanner vor Ort angefertigt worden waren.

Die philologische Bearbeitung von Texten ist in den Editionswissenschaften verankert. Seit Jahrhunderten werden auf Grundlage eines komplexen Methodenapparats Textsammlungen zu Editionen zusammengetragen und wissenschaftlich kommentiert. Auch die Editionswissenschaften haben die Schwelle in das Informationszeitalter lange überschritten und sich auf Regeln für Digitale Editionen verständigt.

Mit dem DIO-Projekt haben wir zu Beginn schon ein solches Vorhaben angesprochen. Bei der kritischen Auseinandersetzung mit Texten spielen immer auch die Textträger eine Rolle. Bei Keilschriftzeugnissen sind dies zumeist Tontafeln, in die die Zeichen mit einem Griffel eingedrückt wurden. Die dritte Dimension ist hier also viel unmittelbarer von Bedeutung als bei Tinte auf Papier. Die Transliteration der Texte und deren Kommentierung ist somit ähnlich wie bei den Inschriften in den Kirchen in digitalen Bezug zu den 3D-Daten zu setzen (Abb. 14). Die Unterschiede zwischen den Lösungen liegen allerdings nicht nur in den zu Grunde liegenden Daten und Fragestellungen, sondern auch in zehn Jahren dynamischer Entwicklung der informationstechnischen Voraussetzungen. Daten werden zwischenzeitlich vielfach in der *Wolke* gespeichert und das Internet bietet ganz neue Voraussetzungen für die Verknüpfung und inhaltlichen Beschreibung von Daten. Begriffe können in ihrer Bedeutung eindeutig gespeichert werden, so dass Computersysteme entscheiden

können, ob mit dem Wort *Bank* eine Sitzgelegenheit, ein Geldinstitut oder eine solide Abwehrkette im Fußball gemeint ist. Damit gewinnen Daten das Potenzial, neben Begriffen auch deren Semantik zu verstehen.

Sir Tim Berners Lee hat, gut zehn Jahre nachdem er die Grundlagen des WWW gelegt hatte, die Lösungen auch für die maschinenlesbare und semantische Verknüpfung von Informationen im Internet aufgezeigt. Seither bauen zahlreiche Organisationen und Firmen, aber auch Behörden und Forschungsinstitutionen, gemeinsam die sogenannten Linked Open Data (LOD) auf. Über standardisierte Kommunikations-Protokolle und festliegende Internetadressen können Informationssysteme seither bestehende Informationen eindeutig und sinnvoll austauschen. Der Fundort der Keilschrifttafeln, Haft Tappeh, kann ebenso eindeutig referenziert werden, wie alle wesentlichen Eigenschaften der Texte und Objekte, wie deren Material, Wortformen oder Details zu den Inhalten. Diese fest adressierten Informations-Knoten werden untereinander in Beziehung gesetzt. Auch für die Charakteristik der Beziehungen gibt es feste Adressen im Internet. Die Aussage »Die Keilschrifttafel HT 07-31-95 wurde gefunden in dem archäologischen Fundort Haft Tappeh« repräsentiert eine solche Verknüpfung, die über LOD auch von Computern verstanden werden kann. Was für Menschen eine Kombination aus Subjekt, Prädikat und Objekt ist, versteht der Computer als zwei *Knoten*, die mit einer *Kante* verbunden sind. Aus diesen Knoten und Kanten entsteht ein Netz, das auch *Wissensgraph* bzw. *Knowledge Graph* genannt wird. Wenn alle Objekte, die in dem Fundort gefunden wurden, auf diesen einen Knoten für den Fundort im Wissensgraph verweisen, können diese umgekehrt durch Abfragen zusammengeführt und nach weiteren Eigenschaften durchsucht werden. Viele derartige Wissensgraphen sind bereits in produktivem Einsatz. Auch bekannte Suchmaschinen zeigen Ergebnisse aus solchen Graphen an (Abb. 15).

Es ist daher sinnvoll, digitale Objekte des kulturellen Erbes in diese Wissenssammlung zu integrieren, damit sie Teil des Informationszeitalters werden können. Die digitale Edition der Texte aus Haft Tappeh erzeugt ent-



**Abb. 15** Suchmaschinen leiten Informationen zu vielen Sachverhalten aus einem großen Wissensgraphen ab und fassen die Ergebnisse zusammen. Hier im Beispiel die Angaben zu Sir Tim Berners-Lee, der die Grundlagen des World Wide Web und später für Semantic Web legte, aus der Suchmaschine google; Screenshot in Google, CC BY-SA 4.0

sprechende Knoten und Kanten. Dafür hat das i3mainz ein Werkzeug entwickelt, das auch für weitere Textkorpora genutzt werden kann. Auf diese Weise soll es den Expertinnen und Experten der Keilschriftforschung erleichtert werden, das Wissen über die älteste Schrift der Welt und ihre mehrere tausend Jahre alte Geschichte in die wissenschaftliche Praxis des 21. Jahrhunderts zu überführen, wie es viele andere Projekte bereits getan haben.

## Digitalisiertes kulturelles Erbe

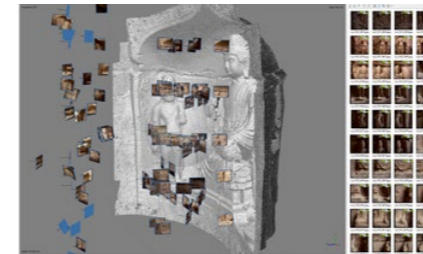
Die wohl größte aktuelle Herausforderung im Bezug auf das digitalisierte kulturelle Erbe ist die Erhaltung und Bereitstellung der Datenbestände. Digitale Daten sind einer Reihe von Gefahren ausgesetzt. Veraltete Formate von Dateien, die nicht mehr geöffnet werden können, zählen ebenso dazu wie Speichermedien, für die es keine Lesegeräte mehr gibt. Die Daten sind zudem nicht in Stein gemeißelt, sondern magnetisierte Zustände in einer beschichteten Platte, die im Idealfall wenige Jahrzehnte lesbar sind. Selbst wenn die Dateien aber noch geöffnet werden können, ist ihr Informationsgehalt nur sehr aufwändig oder gar nicht mehr rekonstruierbar. Häufig sind Tabellen mit Zahlen und Begriffen ein wesentliches Ergebnis einer Datenauswertung, doch wurde in der Vergangenheit selten Wert auf eine Dokumentation gelegt, die nachvollziehbar macht, welche Spalte der Tabelle welche Werte enthalten.

Gerade in Europa ist das Fehlen datenbasierter Geschäftsmodelle in den vergangenen Jahren deutlich geworden. Die Europäische Union hat daher eine Reihe von Initiativen auf den Weg gebracht, das Potential digitaler Daten für die Wirtschaft aber auch die Gesellschaft besser zu nutzen. Mit der Einrichtung einer European Open Science Cloud (EOSC) wird eine grenzübergreifende Dateninfrastruktur aufgebaut, in der Ergebnisse wissenschaftlicher Forschung gesammelt, langfristig verfügbar und auffindbar bereitgestellt werden sollen. Auf nationaler Ebene wurde 2020 im Rahmen eines langwierigen Prozesses der Verein Nationale Forschungsdateninfrastruktur (NFDI) gegründet, in dem ca. 30 von der Deutschen Forschungsgemeinschaft ausgewählte Konsortien entsprechende Strukturen für die verschiedenen Wissenschaftsfelder aufbauen werden.

Das i3mainz engagiert sich seit 2018 in den Diskussionen zur konkreten Ausgestaltung der NFDI und die Hochschule Mainz ist Mitantragstellerin im Konsortium NFDI4Objects, das sich den infrastrukturellen Bedürfnissen der Forschung an den materiellen Hinterlassenschaften der Menschheitsgeschichte widmet.



Fotos:  
oben links, s. Fußnote 13,  
oben rechts: Guido Heinz / RGZM, CC-BY  
unten rechts: Anja Cramer / RGZM, CC-BY



**Abb. 16** Das RGZM erstellte in den 90er Jahren analoge stereofotogrammetrische Aufnahmen von Skulpturen aus dem Felsentempel Ci Shansi bei Linyou, China. Einer der Köpfe wurde später gestohlen (links). Da die Daten zur Kalibrierung der Kamera sowie die Passpunkte dokumentiert worden waren, konnte der Kopf 2010 aus den nachträglich digitalisierten Messbildern mit Matching-Prozessen in Stereomodellen (oben rechts) bereits rekonstruiert und 3D gedruckt werden. Später wurde unter Verwendung aller vorhandenen Messbilder mit SfM-Techniken ein weiteres, vollständigeres 3D-Modell erstellt (unten rechts).<sup>13</sup>

Das Institut bringt hier seine umfangreichen Erfahrungen und Expertise im Bereich der Dokumentation, der Analyse und der Bereitstellung des digitalisierten kulturellen Erbes ein.

### Autor

Kai-Christian Bruhn

## Literatur

- <sup>1</sup> UNESCO, Convention concerning the Protection of the World Cultural and Natural Heritage 1972 <http://unesdoc.unesco.org/images/0011/001140/114044e.pdf#page=134>
- <sup>2</sup> UNESCO-Übereinkommen zur Erhaltung des Immateriellen Kulturerbes, <https://www.unesco.de/kultur-und-natur/immaterielles-kulturerbe/immaterielles-kulturerbe-weltweit/unesco-uebereinkommen>
- <sup>3</sup> Grundlegend: Aleida Assmann: Erinnerungsräume. Formen und Wandlungen des kulturellen Gedächtnisses. Beck, München 2018.
- <sup>4</sup> Janker, K. (2014, April 24). Andy Warhols Amiga-Experimente wieder zugänglich. Süddeutsche Zeitung. <https://www.sueddeutsche.de/kultur/werke-von-warhol-wiedergefunden-andy-entdeckt-den-amiga-1.1943429>
- <sup>5</sup> Neues Erbe: Aspekte, Perspektiven und Konsequenzen der digitalen Überlieferung. (2017). In R. Hauser & C. Y. Robertson-von Trotha (Hrsg.), Neues Erbe: Aspekte, Perspektiven und Konsequenzen der digitalen Überlieferung. KIT Scientific Publishing. <http://books.openedition.org/ksp/3904>
- <sup>6</sup> <https://vangoghtv.hs-mainz.de/>
- <sup>7</sup> <http://www.designlabor-gutenberg.de>
- <sup>8</sup> <https://architekturinstitut.hs-mainz.de/projekte/>
- <sup>9</sup> <https://mainzed.org/>
- <sup>10</sup> Eine ausführliche Darstellung zur Geschichte des i3mainz bietet F. Boochs, in: G. Muth (Hg), Forum 1.19. Das Magazin der Hochschule Mainz (2019) p. 4-11 [https://www.hs-mainz.de/file-admin/Hochschule/Publikationen/Forum/HSM\\_Forum\\_2019-01\\_Gesamtausgabe\\_Web.pdf](https://www.hs-mainz.de/file-admin/Hochschule/Publikationen/Forum/HSM_Forum_2019-01_Gesamtausgabe_Web.pdf)
- <sup>11</sup> Anneke Meyer, Forschungsdatenbank EOSC. Eine Plattform für alle Wissenschaftler, Beitrag Deutschlandfunk 20.3.2019, <https://www.deutschlandfunk.de/forschungsdatenbank-eosc-eine-plattform-fuer-alle-100.html>
- <sup>12</sup> Keller, Christin et al. (2022). Digitales Forschungsdatenmanagement in der Archäologie und die Initiative NFDI4Objects. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5823868>
- <sup>13</sup> G. Heinz: Kopien berührungslos erstellen - virtuell und zum Anfassen in: Restaurierung und Archäologie, Band 3, 2017, DOI: <https://doi.org/10.11588/ra.2010.0.36915>

# Forschungsprojekte

**Derzeit stehen die Themen Open Government, Open Data und Geodateninfrastruktur, 3D-Messtechnik, computerbasierte Simulation und Visualisierung sowie Digital Humanities und das Semantic Web im Mittelpunkt unserer Forschung.**



# Raumintelligenz für die integrierte Versorgung von Seniorinnen und Senioren in ländlichen Quartieren (RAFVINIERT)



## Aktivitäten 2021

Seit Projektbeginn im April 2021 wurden Strukturen für die wissenschaftliche Gesamtkoordination etabliert, Kommunikationsstrategien mit den Projektpartnern entwickelt sowie relevante Datenquellen und deren Verfügbarkeit identifiziert. Im Laufe des Jahres konnten fünf Promotionsstellen besetzt werden. Die Mitarbeiter befassen sich mit den jeweiligen Teilbereichen des Forschungsprojekts: kleinräumiges Monitoring von Einfamilienhausgebieten und Versorgungseinrichtungen, Individualisierung von Erreichbarkeitsanalysen und Versorgungsplanung, Sichtbarmachen von Wechselwirkungen zwischen Versorgungseinrichtungen, Demografie, Siedlungsgefüge und individuellem Wohlbefinden sowie szenarien-basiertes Abschätzen zukünftiger Versorgungsengpässe und Schaffung von Lösungen für die planerische Praxis.

**Zeitraum** 01.04.2021 – 31.03.2024

**Leitung** Prof. Dr.-Ing. Markus Schaffert,  
 Prof. Dr. rer. nat. Pascal Neis,  
 Prof. Dr.-Ing. Klaus Böhm

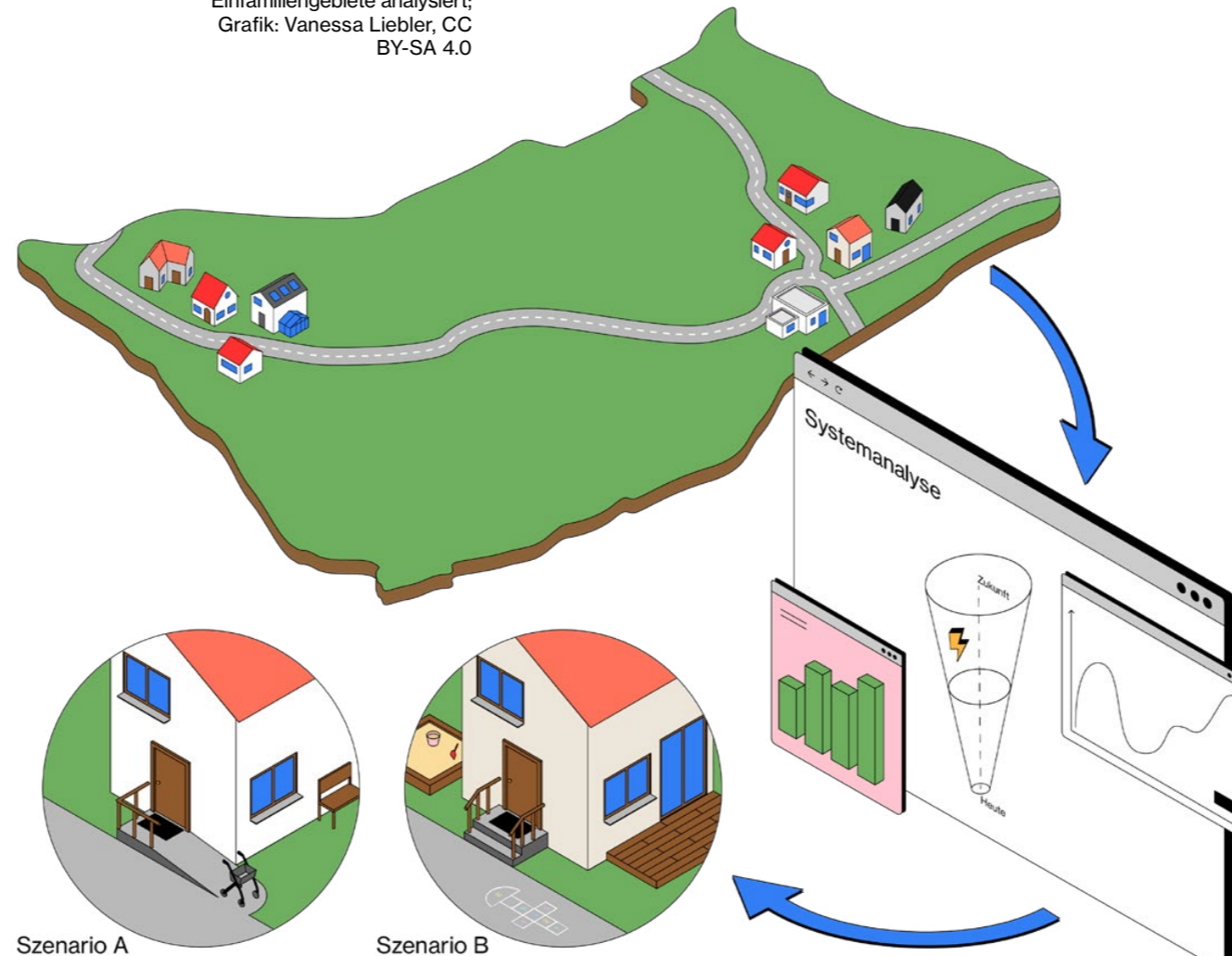
**Mitarbeit** Nicole Vögtlin Bruhn M.A.,  
 Dipl.-Geogr. Florian Brunn,  
 Konstantin Geist M.Sc.,  
 Max Hoppe M.A.,  
 Kevin Kaminski M.A.,  
 Dominik Visca M.Eng.,  
 Christian Wolff M.Sc.

**Förderung** Carl-Zeiss-Stiftung, 1 Mio. €

**Kooperation** Landkreis Kaiserslautern,  
 Landkreistag Rheinland-Pfalz,  
 Landkreis Tirschenreuth,  
 FIRU mbH – Forschungs- und  
 Informations-Gesellschaft für  
 Fach- und Rechtsfragen der  
 Raum- und Umweltplanung

Für ältere Menschen ist der Weg zum Supermarkt, zur Apotheke oder zum Arzt in ländlichen Regionen oft zu weit. Von Versorgungsengpässen sind Ortskerne von strukturschwachen Dörfern ebenso wie Einfamilienhausgebiete (EFHG) betroffen. In Zusammenarbeit mit den Projektpartnern werden Umsetzungsstrategien für das kleinräumige Monitoring von Einfamilienhausgebieten im Rahmen von kommunalen Geodateninfrastrukturen entwickelt.

Abbildung:  
 Bei der Szenariotechnik werden verschiedene Zukunftsoptionen für alternde Einfamiliengebiete analysiert;  
 Grafik: Vanessa Liebler, CC BY-SA 4.0



Eine Anwendung zur senioren-spezifischen Berechnung von Erreichbarkeiten relevanter Versorgungseinrichtungen konnte bereits prototypisch umgesetzt werden. Um die Informationsbasis für eine demografie-robuste Versorgungsplanung zu optimieren, wurde eine Systematik zur Bestimmung relevanter Indikatoren, Methodiken für die Modellberechnungen und Konzepte zur Datenfusion für das kleinräumige Monitoring erarbeitet, welche iterativ weiterentwickelt werden. Ein weiterer Prototyp für die automatisierte Aufbereitung relevanter Daten ist im Aufbau. Im partizipativen Prozess mit unseren Kooperationspartnern in den Modellkommunen werden Möglichkeiten für die zukunftsorientierte und persistente Integration dieser Werkzeuge in die kommunale Praxis erörtert.

# BauRobo – Entwicklung einer robotergestützten Prozessführung für den Innenbereich im Baugewerbe

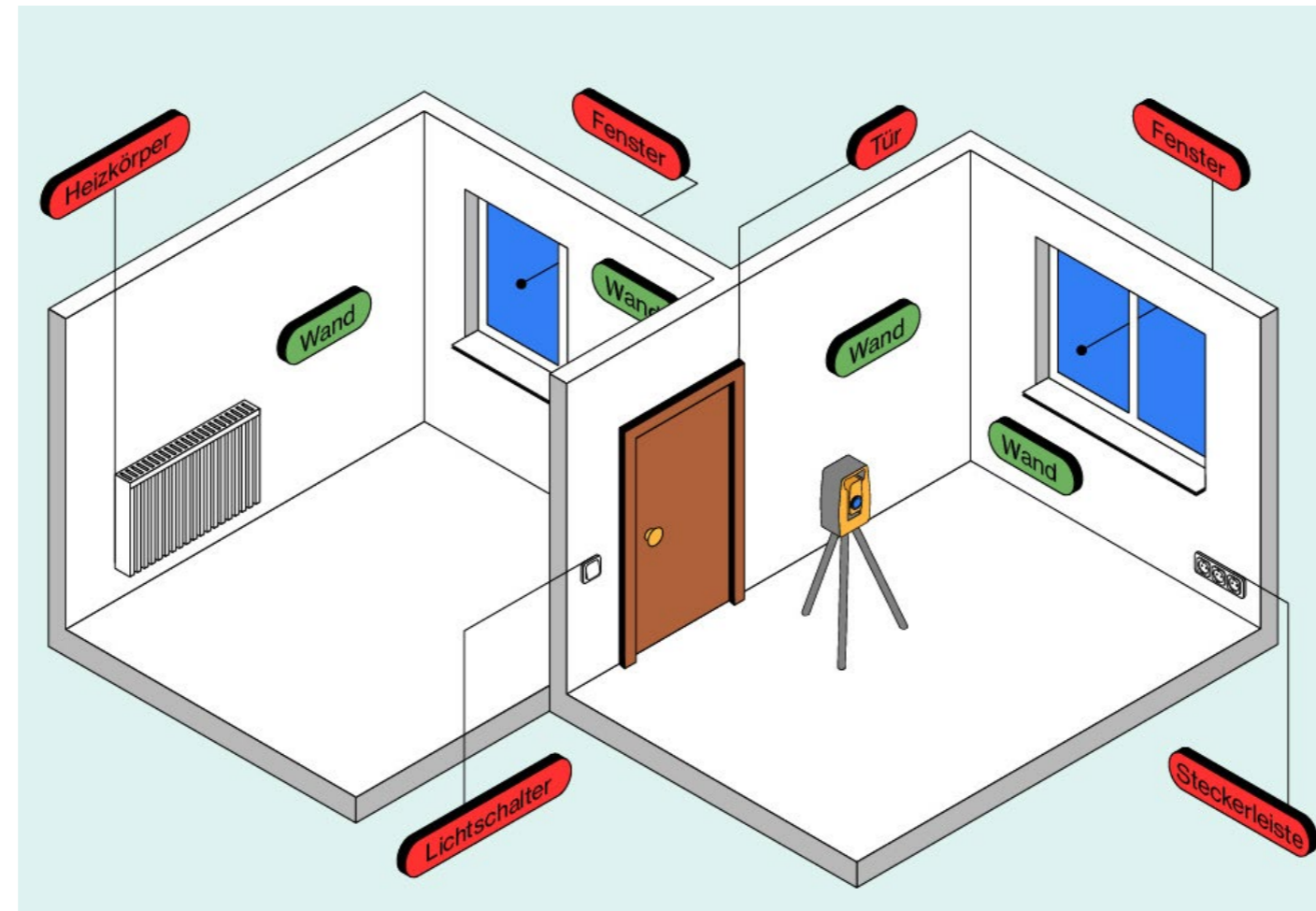
<b>Zeitraum</b>	01.04.2021 – 31.03.2023
<b>Leitung</b>	Prof. Dr.-Ing. Anita Sellent
<b>Mitarbeit</b>	Dr. Jean-Jacques Ponciano, Jonas Veller M. Sc.
<b>Förderung</b>	Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie
<b>Kooperation</b>	maler Siedler GmbH & Co. KG

Mit Unterstützung des i3mainz möchte der Malerfachbetrieb maler Siedler den bisher manuellen Schleif- und Sprühprozess von Innenwänden und Decken digitalisieren und automatisieren. Ziel des Kooperationsvorhabens ist die Erforschung und prototypische Entwicklung eines modularen Bau-Roboters.



→ Weiter zum Projekt:  
[i3mainz.hs-mainz.de/projekte/baurobo/](https://i3mainz.hs-mainz.de/projekte/baurobo/)

Abbildung:  
Im Rahmen des Projektes  
werden Wandflächen  
(Grün) und Objekten auf der  
Wänden (Rot) detektiert;  
Grafik: Vanessa Liebler,  
CC BY-SA 4.0



## Aktivitäten 2021

Zum Projektstart wurde das Wissen, das für Handwerker präsent und selbstverständlich ist, informationstechnisch erfasst und auswertbar gemacht. Im Rahmen des Projektes aufgezeichnete Testdaten aus den verschiedensten Einsatzbereichen des Malerbetriebes erlauben es, zu identifizieren, wo der Stand der Technik für eine Robotersteuerung ausreichend ist, und wo das Wissen und die Expertise der i3mainz Mitarbeiter gefragt sind. In den letztgenannten Bereichen wurde der Stand der Technik vorangetrieben, um die anwendungsspezifischen Schwierigkeiten zu meistern. Dabei steht immer auch der Einsatz des Systems in der Praxis im Vordergrund, so dass zahlreiche Visualisierungswerkzeuge und Interaktionsmöglichkeiten implementiert wurden, mit denen der Bauroboter auch von fachfremdem Personal bedient werden kann.

## Ausblick

Nach Abschluss der begonnenen Lösungsansätze geht es insbesondere darum, das System im Praxiseinsatz zu testen und die dabei erworbenen Kenntnisse automatisch in ein selbstlernendes System zu integrieren.

# Ende und Anfang im Tempel von Heliopolis



→ Weiter zum Projekt:  
[i3mainz.hs-mainz.de/projekte/heliopolis\\_2/](https://i3mainz.hs-mainz.de/projekte/heliopolis_2/)

Abbildung oben:  
Aufnahme im Magazin;  
Foto: Kai-Christian Bruhn,  
CC BY-SA 4.0

Abbildung unten:  
Einsatz im Museum;  
Foto: Michael Schleier,  
CC BY-SA 4.0

<b>Zeitraum</b>	01.05.2021 – 30.04.2024
<b>Leitung</b>	Prof. Dr. phil. Kai-Christian Bruhn, Prof. Dr. Dietrich Raue, Universität Leipzig, Ägyptologisches Institut
<b>Mitarbeit</b>	Michael Schleier, Dr. Aiman Ashmawy
<b>Förderung</b>	Deutsche Forschungsgemeinschaft
<b>Kooperation</b>	Universität Leipzig

Das Vorhaben baut auf den Resultaten des Vorgängerprojekts *Das Kultzentrum des Sonnengottes von Heliopolis (Ägypten)* auf. Das i3mainz unterstützt das Heliopolis-Projekt bei der Umsetzung und dem Ausbau der Datenmanagementstrategie und der Entwicklung angepasster 3D-Erfassungsstrategien. Dazu beteiligt sich das Institut an den Ausgrabungen in Kairo und führt Workshops mit den Projektbeteiligten durch.



## Aktivitäten 2021

Als Vorbereitung zu den ersten Feldarbeiten fand im Juli 2021 ein zweitägiger, virtueller GIS-Workshop mit den Leipziger Projektmitarbeitenden und Studierenden statt. Themen waren die Erfassung und Verarbeitung tachymetrischer Messdaten, die Georeferenzierung und Vektorisierung von Grabungsplänen sowie die Einbindung von Satellitendaten.

Während der Grabungskampagne (August bis Oktober 2021) wurden knapp 180 Funde im Magazin, auf der Grabung und im Museum in Matariya dokumentiert. Im Fokus stand die Entwicklung einer Aufnahme-prozedur, die eine qualitätsgesicherte Bereitstellung der Daten ermöglicht und gleichzeitig den Anforderungen (festgelegte Auflösung für Reliefstrukturen, Abbrüche und Details der Objekte) und den Arbeitsbedingungen gerecht wird. Hierzu wurde im Vorfeld eine Aufnahme-strategie entwickelt, die eine möglichst konstante und dem Objekt angepasste Ortsauflösung garantiert. Die anschließenden Auswertearbeiten fokussierten sich auf Strategien zur Visualisierung und Quantifizierung der Objektoberflächen. Die Software GigaMesh bietet dafür eine wissenschaftliche Grundlage und die erzielten Ergebnisse bestätigen die Eignung auch für die Auswertung von Bearbeitungsspuren auf großformatigen Steinobjekten.

Für die Zusammenführung der verteilten Geo-, Objekt- und Grabungsdaten wurde in Kooperation mit dem Deutschen Archäologischen Institut eine Instanz der Datenbanklösung idai.field (<https://field.dainst.org/>) installiert. Sie steht in einem lokalen Netzwerk auch während der Grabungsaufenthalte in Kairo für die Mitarbeitenden zur Verfügung. Die Bilddaten sollen über das Langzeitarchiv an der Universität Leipzig eingebunden werden.



# Metadatenchema und Ontologiemodell für die Erfassung und Prozessierung von 3D-Modellen des Kulturellen Erbes

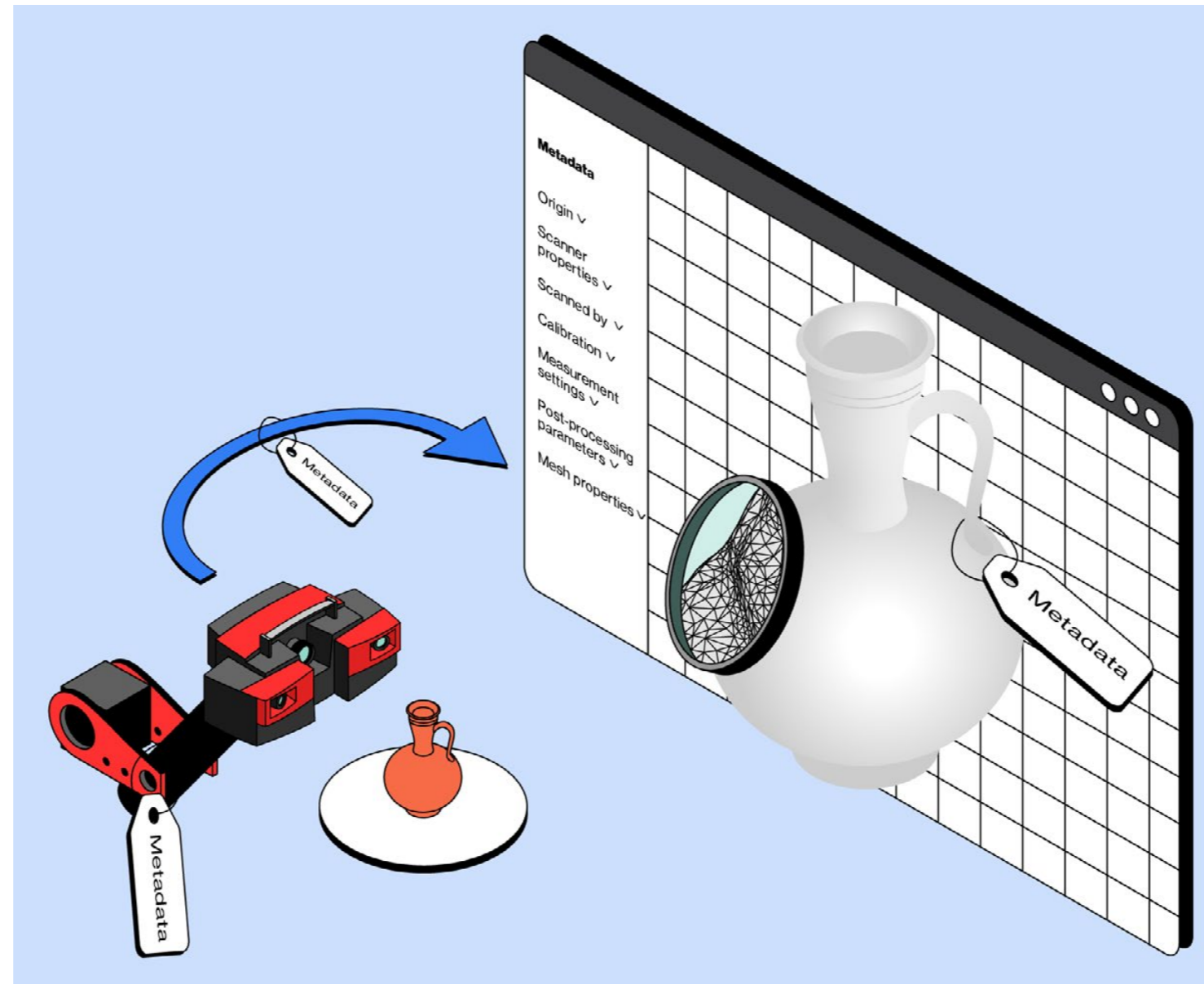
**Zeitraum** Seit 01.01.2020  
**Leitung** Prof. Dr. phil. Kai-Christian Bruhn  
**Mitarbeit** Timo Homburg M. Sc.,  
Dipl.-Ing. (FH) Anja Cramer (RGZM),  
Laura Raddatz M. Sc.,  
Dr. Hubert Mara,  
Fabian Mascioni (Hilfskraft)  
**Kooperation** Römisch-Germanisches Zentral-  
museum, Leibniz-Forschungsinstitut  
für Archäologie (RGZM)

Für die Einschätzung der Qualität eines Digitalisats von Objekten des kulturellen Erbes ist die lückenlose, maschinen- und menschenlesbare Beschreibung der Erfassungs- und Datenaufbereitungsprozesse zentral. Daher erarbeiten Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter von i3mainz und RGZM projektübergreifend ein Metadatenchema und ein Ontologiemodell für die Beschreibung wichtiger Schritte der Digitalisierung.

Abbildung:  
In das Mesh fließen Infos vom  
gesamten Scanprozess ein.  
Grafik: Vanessa Liebler,  
CC BY-SA 4.0



→ Weiter zum Projekt:  
[heritagesciencejournal.springeropen.com/articles/10.1186/s40494-021-00561-w](https://heritagesciencejournal.springeropen.com/articles/10.1186/s40494-021-00561-w)



## Aktivitäten 2021

Aus einer Reihe von Digitalisierungsprojekten vom i3mainz und RGZM entstand der Bedarf an einer standardkonformen Bereitstellung von Metadaten für 3D-Digitalisate. Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter dieser Projekte entwickelten daher Lösungen für die technischen Metadaten, bei dem Einsatz eines Streifenlichtprojektors der Firma GOM und der dazugehörigen Scan- und Prozessierungssoftware entstehen.

Zur Kontrolle der Metadaten wurde eine prototypische SPARQL-Datenbank aufgesetzt, in der die Daten aus unterschiedlichen Dokumentationsprojekten importiert wurden. Durch Anfragen kann die Korrektheit der importierten Informationen über die verwendeten Sensoren, Anzahl der Scans, Auflösung etc. in der Datenbank validiert werden. Ziel ist es, neben der Vereinheitlichung der Metadaten auch eine Datenbasis für zukünftige Qualitätsanalysen von Scandaten bereitzustellen. Im Projektjahr 2021 bereitete das Team die Ontologie und die exportierten Metadaten in verschiedenen Formaten für Anwendungsbeispiele der Ontologie auf, die auf Zenodo ([Beispiel 1](#) + [Beispiel 2](#)) publiziert sind. Die Python Software für die Generierung der Metadaten ist auf Github veröffentlicht und der Gesamtprozess einer Metadatengenerierung in einer Publikation im Heritage Science Journal ausführlich dokumentiert.

## Ausblick

Geplant ist, weitere Verfahren, etwa Structure from Motion (SfM) und die Auswertesoftware Agisoft Metashape einzubinden. Neben den Skripten zum Auslesen der Metadaten soll auch die Ontologie ergänzt werden, wodurch die Methoden und deren Ergebnisse besser vergleichbar werden.

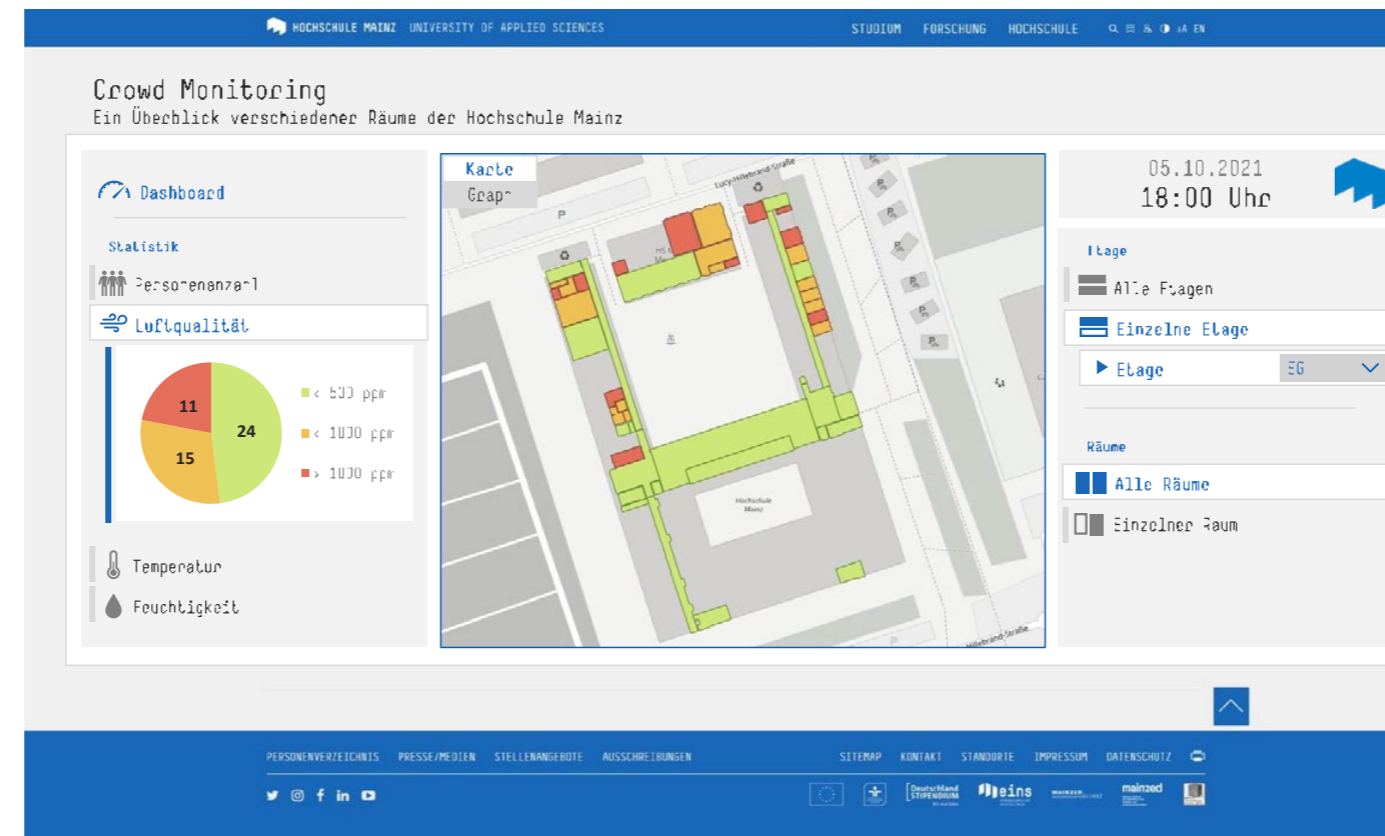
# GEMEINSAM – KI-gestütztes Gebäude- monitoring für das Besuchermanagement



→ Weiter zum Projekt:  
[i3mainz.hs-mainz.de/projekte/gemeinsam/](https://i3mainz.hs-mainz.de/projekte/gemeinsam/)

Abbildung:  
Mockup einer Webseite zur  
Visualisierung der Luftqualität  
in verschiedenen Räumen an  
der Hochschule Mainz. Die  
jeweilige Raumfarbe visuali-  
siert, ob sich aktuell zu viele  
Personen in einem Raum  
aufhalten und dieser gelüftet  
werden muss;

Grafik: Julian Stockemer,  
wissenschaftliche Hilfskraft  
im Projekt, CC BY-SA 4.0



## Aktivitäten 2021

Im Berichtszeitraum lag der Fokus auf dem Aufbau einer auf Standards basierten Plattform zum Aufsameln und Bereitstellen aller für die Analyse benötigten Sensordaten. Besondere Bedeutung kommt hierbei der Berücksichtigung räumlicher und zeitlicher Zusammenhänge der Sensordaten zu. Darüber hinaus wurden Visualisierungsverfahren erarbeitet, welche die Sensordaten im räumlichen Kontext darstellen. Hierbei wurde z.B. die konkrete Gebäudeinformation der Hochschule Mainz mit einbezogen. Für die Analyse der Sensordaten im Hinblick auf Erkennung der Personenzahl pro Raum und möglichen Vorhersagen wurden verschiedene Modelle unter Verwendung von unterschiedlichen Machine Learning Verfahren untersucht. Konkret kamen dabei Zero-Inflated Regressionen, Entscheidungsbäume und Neuronale Netze zum Einsatz. Auch wenn die Analysemodelle generell vielversprechende Ergebnisse liefern, so ist die Verfügbarkeit der Sensordaten noch nicht auf dem Niveau, dass zuverlässige Analysen möglich sind.

## Ausblick

Im nächsten Schritt soll die Präsentation der Daten – auch Rohdaten – weiter verbessert werden. Darüber hinaus ist die Verbesserung der Datenlage im Hinblick auf zuverlässige Analysen anzustreben.

**Zeitraum** 15.11.2020 – 14.05.2022  
**Leitung** Prof. Dr. rer. nat. Pascal Neis,  
Prof. Dr.-Ing. Markus Schaffert,  
Prof. Dr.-Ing. Klaus Böhm  
**Förderung** Ministerium für Wissenschaft,  
Weiterbildung und Kultur des Landes  
Rheinland-Pfalz, 90.000 €

Ziel des Projekts ist es, neben Smartphones oder Tablets sogenannte Wearables zu nutzen, um ein intelligentes Besuchermanagement für die Verwaltung von Immobilien zu entwickeln.

# Registrierung von 3D Scans mit Hyperspektralen Scans im Kontext von Umweltanwendungen

**Zeitraum** 01.01.2019 – 31.12.2021  
**Leitung** Prof. Dr. Frank Boochs,  
Prof. Dr. Alain Trémeau (University  
Jean Monnet, St.-Etienne, France)  
**Mitarbeit** Dr. Songül Polat  
**Förderung** Europäischer Fonds für regionale  
Entwicklung (EFRE),  
InnoProm – Innovation und Promotion  
**Kooperation** V&R Vision & Robotics GmbH

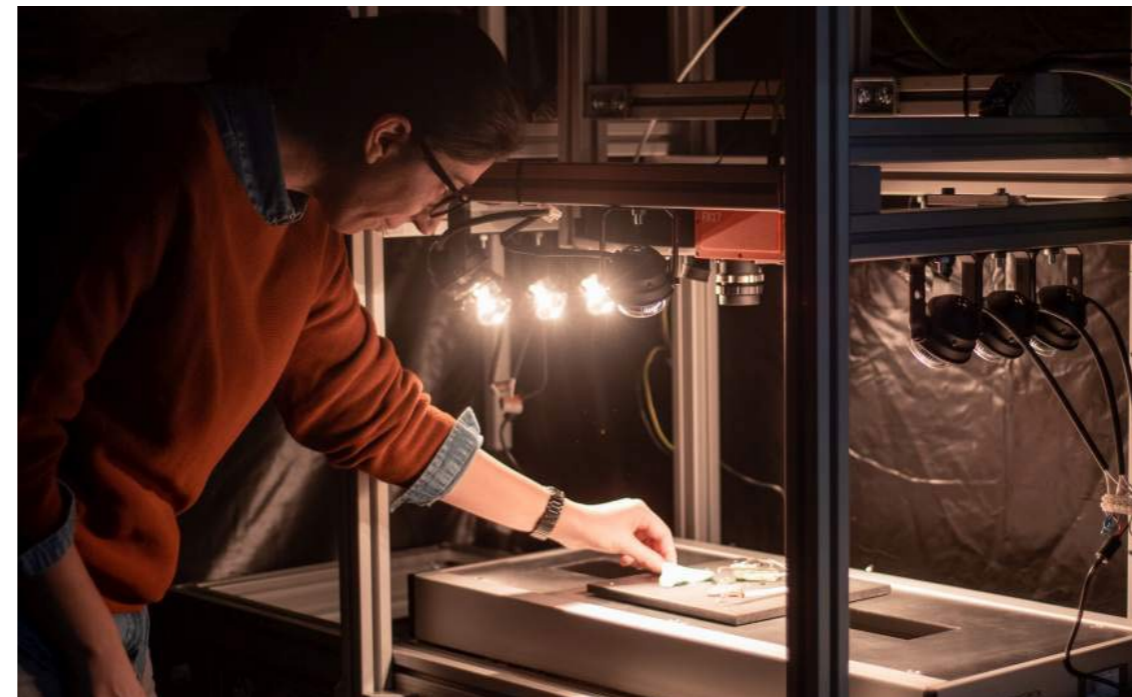
Die Verknüpfung hyperspektraler und geometrischer Daten ist für viele Anwendungsfelder von großem Interesse. Nennenswert sind hier die Bauwerksüberwachung, Landwirtschaft, Umweltfragen, Denkmalpflege und Prozesssteuerung in der Produktion. Im Rahmen ihrer Dissertation erforschte Songül Polat die Verknüpfung hyperspektraler und geometrischer Daten.



→ Weiter zum Projekt:  
[i3mainz.hs-mainz.de/projekte/hyperspektrale-scans/](https://i3mainz.hs-mainz.de/projekte/hyperspektrale-scans/)

Abbildung oben:  
Praxisbeispiel aus dem Bereich WEEE. Klassifiziert wurden verschiedene Kunststoffe, Platinen und elektronische Komponenten auf den Platinen; <https://doi.org/10.3390/app11188424>, CC-BY 4.0

Abbildung unten:  
Songül Polat bei Ihren Forschungen im Hyperspektrallabor; Foto: Vanessa Liebler, CC BY-SA 4.0



## Aktivitäten 2021

Während geometrische Daten die morphologischen Eigenschaften beschreiben, liefern hyperspektrale Daten Informationen über Materialeigenschaften und erlauben eine präzisere Analyse der Objekte. Mit verschiedenen Ansätzen zeigt Songül Polat in ihrer Dissertation, dass eine Kombination dieser Daten einen Mehrwert darstellt und wie jeder Sensor die Schwächen des anderen kompensieren kann.

Darüber hinaus entwickelt sie eine neue Methode für die Analyse von spektralen Signaturen und vergleicht diese mit bestehenden Ansätzen. Anhand von Erkenntnissen aus den Bereichen kulturelles Erbes und Abfallwirtschaft demonstriert sie deren Überlegenheit gegenüber SVM-Methoden.

Zusätzlich stellt Polat eine neu entwickelte Analyse-methode vor, die auf 3D- und hyperspektralen Merkmalen basiert. Die Evaluierung dieser Methodik erfolgt anhand eines Praxisbeispiels aus dem WEEE-Bereich, also der Abfallvermeidung von Elektro- und Elektronikgeräten und konzentriert sich auf die Trennung von Materialien. Die erzielten Ergebnisse bestätigen eine Verbesserung der Klassifizierungsergebnisse im Vergleich zu bisher vorgeschlagenen Methoden.

# BAM – Big-Data-Analytics in Environmental and Structural Monitoring



<b>Zeitraum</b>	01.04.2019 – 31.03.2022
<b>Leitung</b>	Prof. Dr.-Ing. Martin Schlüter, Prof. Dr.-Ing. Klaus Böhm, Prof. Dr.-Ing. Jörg Klonowski, Prof. Dr. Gunther Piller (FB Wirtschaft)
<b>Mitarbeit</b>	Denise Becker M.Sc., Nicole Vögtlin Bruhn M. A., Lisa Mosis B.Sc., Thomas Müller M.Sc. (FB Wirtschaft), Linda Rau M.Sc., Alexander Rolwes M.Sc., Kira Zschiesche M.Sc.
<b>Förderung</b>	Carl-Zeiss-Stiftung, 750.000 €
<b>Kooperation</b>	Parken in Mainz GmbH (PMG), Mainzer Verkehrsgesellschaft mbH (MVG), Hochschule Mainz, Fachbereich Wirtschaft

Ziel des Forschungsvorhabens ist es, Verfahren bereitzustellen, die den Nutzen stark wachsender Datenmengen mit Raumbezug erhöhen. So werden im Bereich Smart City auf Machine Learning (ML) basierende Informationssysteme entwickelt, welche mittels Analyse und Visualisierung Entscheidungsfindungen erleichtern. Ferner wird der Autonomiegrad optischer Monitoringssysteme auf der Basis von Bildanalyse mithilfe von Deep-Learning-Systemen gesteigert.

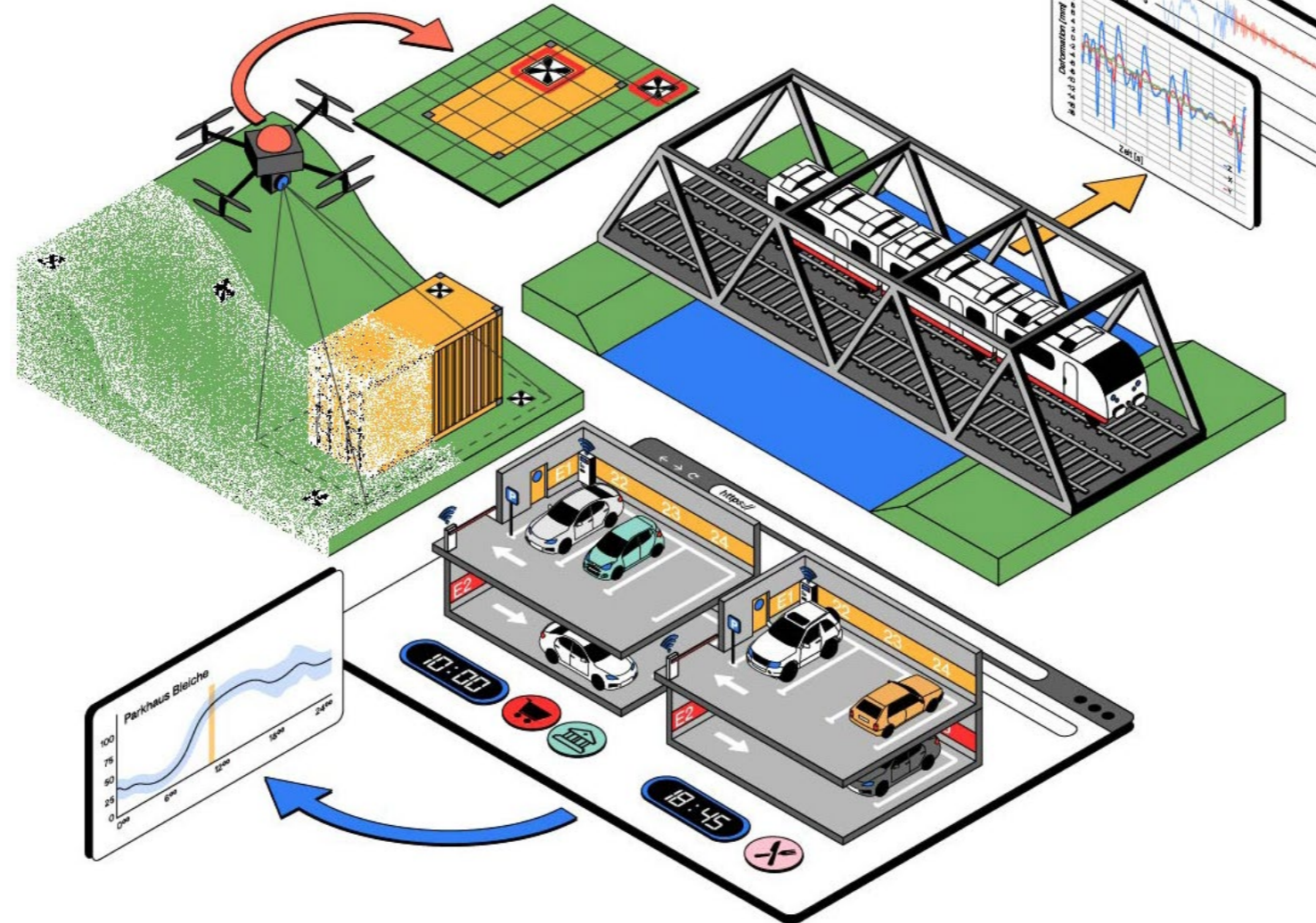


Abbildung:  
Darstellung der verschiedenen Schwerpunkte des Projekts; Grafik: Vanessa Liebler, CC BY-SA 4.0

## Aktivitäten 2021

Der Fokus der raumbezogenen Analysen lag auf der Entwicklung und Evaluierung eines allgemeingültigen Prozesses sowie auf der Weiterentwicklung einer Bewertungsmetrik zur Identifikation räumlicher Schlüsselfaktoren an den Beispielen der Parkhausbelegung in Mainz und eines Fahrradverleihsystems in Hamburg. In einem nächsten Schritt werden die Analyseergebnisse nutzerorientiert mit Hilfe verschiedener Geovisualisierungsansätze kommuniziert, um mit neuen Erkenntnissen über urbane Beziehungen stadtplanerische Entscheidungen zu unterstützen.

Die Entwicklung eines Ansatzes zur Steuerung von Off-Street Parkflächen ermöglicht es dem Parkhausbetreiber, die Nutzung von Parkflächen, unter Berücksichtigung verschiedener Kundenangebote, zu maximieren. Die Lösung basiert auf einem zeitabhängigen Modell und nutzt historische Daten, um die Anzahl an Fahrzeugen und deren Parkdauer vorherzusagen.

Im Bereich der optischen Erfassung von Deformations- bzw. Schwingungsverhalten, dem Structural Health Monitoring von Bauwerken konnte das Team seine Erkenntnisse vertiefen. Am Beispiel von Brückenbauwerken entwickelte es Konzepte zur Erfassung des Bauwerkzustandes unter Anwendung des am i3mainz entwickelten Prototypen MoDiTa (Modular Digital Imaging Total Station).

Im Bereich Machine Learning wurden Ansätze für verschiedene Anwendungsbereiche der automatischen Muster- und Targeterkennung untersucht und ein Workflow für die technische Umsetzung erarbeitet. Die Bilddaten werden zum einen mittels Kameraachymetrie und zum anderen aus UAV-Befliegungen (unmanned aerial vehicles) aufgenommen. Zum Einsatz kommen sowohl kommerzielle als auch quelloffene Lösungen. Zukünftig sollen die Ergebnisse evaluiert und teilweise hardwareunabhängige Strategien integriert werden.

# bim4cAire – Shaping the Future of Care with the Digital Twin



→ Weiter zum Projekt:  
[i3mainz.hs-mainz.de/projekte/bim4caire/](https://i3mainz.hs-mainz.de/projekte/bim4caire/)

Abbildung:  
 Wohnräume werden digital erfasst, um später mit ihrem Bewohner "kommunizieren" zu können; Grafik: Vanessa Liebler, CC BY-SA 4.0



**Zeitraum** 01.10.2019 – 30.09.2022  
**Leitung** Prof. Dr.-Ing. Thomas Klauer,  
 Prof. Dr.-Ing. Uwe Rüppel  
 (Technische Universität Darmstadt)  
**Mitarbeit** Bastian Plaß M.Sc.  
**Förderung** FB Technik der Hochschule Mainz  
**Kooperation** Technische Universität Darmstadt,  
 Institut für Numerische Methoden und  
 Informatik im Bauwesen (iib)

Ziel des Projekts ist die Entwicklung effizienter Verfahren zur Erzeugung eines Gebäudeinformationsmodells (as-built BIM), deren Nutzung am Anwendungsbeispiel Digitale Pflege (E-Health) evaluiert wird. Dabei wird das Potential von kostengünstigen Technologien und lernfähigen Algorithmen aus dem Bereich der Künstlichen Intelligenz (KI) eingesetzt und damit die bislang arbeitsintensive Verfahrenskette teilautomatisiert.

## Aktivitäten 2021

Vor dem Hintergrund wachsender Bedarfe einer alternden Bevölkerung realisieren Wissenschaftler des i3mainz in enger Kooperation mit dem iib der TU Darmstadt Konzepte eines digitalen Pflegeprozesses der Zukunft. Die *Pflege zu Hause* stellt darin ein gefragtes Szenario vor, welches sich durch eine hohe Individualität auszeichnet. In Verbindung mit bauwerksbezogenen Methoden können Pflegehandlungen abgebildet und kurzerhand digital angeboten werden. Die Modellierung eines Bauwerks und darin integrierter Sensorik für Pflegezwecke repräsentiert ein vielfältiges Forschungsfeld, welchem sich Bastian Plaß im Rahmen seiner Dissertation widmet.

Auf Grundlage identifizierter Anforderungen einer *Pflege zu Hause* wurden zwei Vorhaben initiiert. Dabei handelt es sich einerseits um ein studentisch unterstütztes Projekt mit dem Ziel, geeignete 3D-Datenerfassungstechnologien aus unterschiedlichen Marktbereichen zu evaluieren. Das zweite Projekt knüpft an diese Ergebnisse an und bewertet Wohnräumlichkeiten anhand der sensoralen Repräsentation (3D-Punktwolke) im Kontext der physischen Verfassung eines Patienten. Die Ergebnisse beider Arbeiten werden 2022 erwartet.

## Ausblick

Für 2022 setzen sich die Wissenschaftler das Ziel, Methoden aus der KI auf den Anwendungsfall zu übertragen und den wissenschaftlichen Schwerpunkt zu intensivieren. Mit Hilfe neuartiger Verfahren aus dem ML sollen weitere Teile der Verfahrenskette automatisiert verarbeitet werden.

# Digitale Edition der Keilschrifttexte aus Haft Tappeh (Iran)



→ Weiter zum Projekt:  
[i3mainz.hs-mainz.de/projekte/hafttappeh/](https://i3mainz.hs-mainz.de/projekte/hafttappeh/)

## Aktivitäten 2021

Neben der Projektarbeit war das Forschungsjahr 2021 geprägt von Vernetzungstreffen mit Fachkolleginnen und -kollegen, die sich mit Digitalen Editionen, deren infrastrukturellen Voraussetzungen, den philologischen wie linguistischen Anforderungen und informationswissenschaftlich relevanten Konzepten befassen. Ende 2021 konnten die Bilddaten aus Haft Tappeh für die Übergabe in das Repositorium der Universitätsbibliothek Heidelberg vorbereitet werden. Dabei wurde das von i3mainz und RGZM entworfene Metadatenchema zugrunde gelegt.

Seit August 2021 intensiviert sich die Kooperation zwischen dem Haft Tappeh-Team, der *Cuneiform Digital Library Initiative (CDLI)* und der *Ontolex Lemon Gruppe*. Letztere bemüht sich um die Formalisierung von Vokabularen, in unserem Fall die Keilschriftpaläographie, zur Veröffentlichung lexikalischer Daten, also einzelner Zeichen, Wörter und Grammatiken in verschiedenen Sprachen. Am Beispiel von rund 30.000 Keilschrifttafeln der Hilprecht Sammlung testete das Haft Tappeh-Team außerdem, wie Annotationen auf zweidimensionalen Bildmedien realisiert werden können. Das Ergebnis ist eine in Entwicklung befindliche Webanwendung.

## Ausblick

Der Projektfortschritt führte zu einer Einladung für den einwöchigen, internationalen Lorentz-Workshop *Securing Data in Mesopotamia* im März 2022 an der Universität Leiden, bei dem das Haft Tappeh-Projekt die bis dahin erzielten Ergebnisse präsentieren wird.

- Zeitraum** 01.09.2019 – 31.08.2022
- Leitung** Prof. Dr. phil. Kai-Christian Bruhn,  
Prof. Dr. Doris Prechel (JGU)
- Mitarbeit** Tim Brandes M.A. (JGU),  
Timo Homburg M. Sc.,  
Dr. Eva Huber(JGU),  
Marc Häuser,  
Ali Zalaghi (JGU)
- Förderung** Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), 231.604 €
- Kooperation** Institut für Altertumswissenschaften  
Altorientalische Philologie, Johannes  
Gutenberg-Universität Mainz

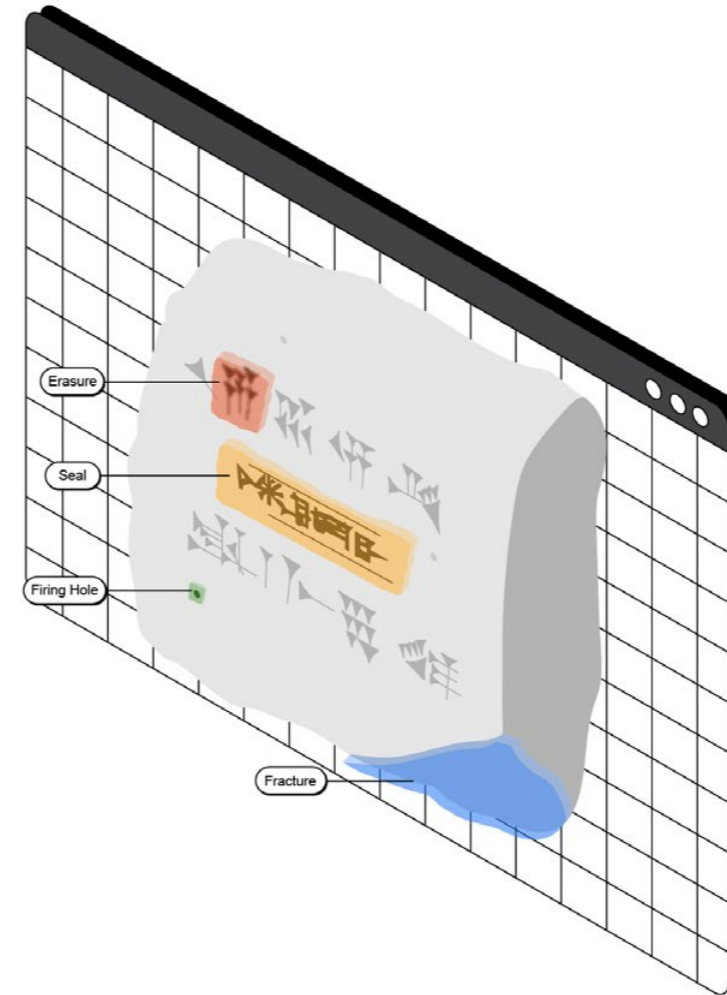
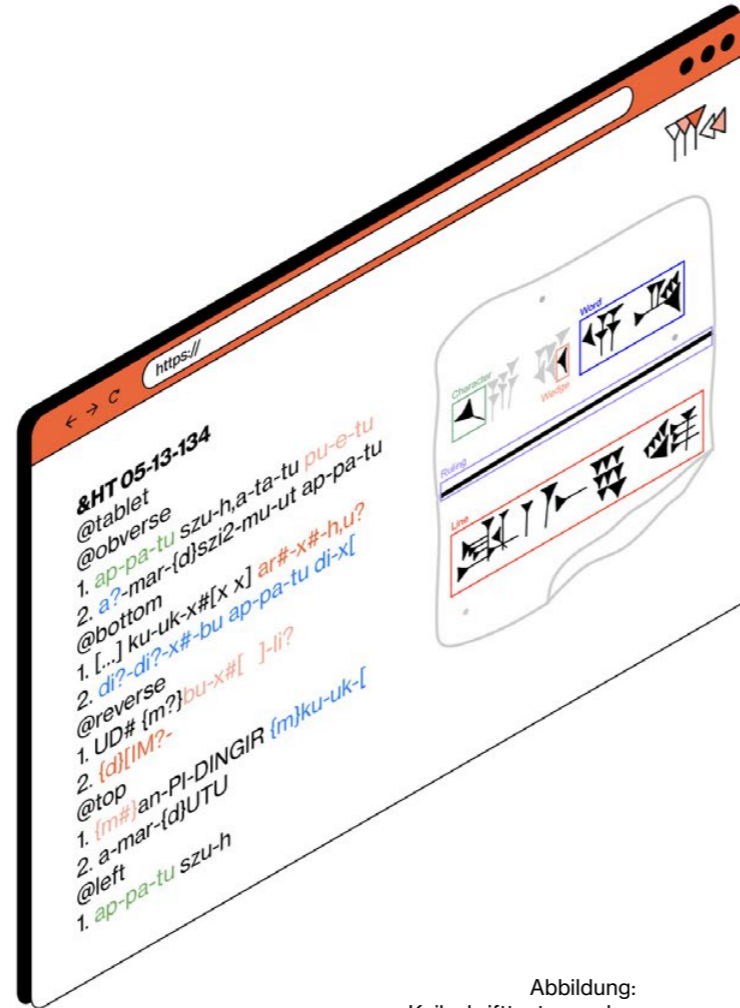


Abbildung:  
Keilschrifttexte werden transliteriert und digital bereitgestellt;  
Grafik: Vanessa Liebler,  
CC BY-SA 4.0

Das Projekt unterstützt die Transliteration und digitale Bereitstellung von mehr als 600 Keilschrifttexten aus Haft Tappeh (Iran). Ziel ist die digitale Edition der Texte unter Berücksichtigung vorhandener und Entwicklung neuer Werkzeuge, internationaler Standards und computerlinguistischer Auswerteverfahren.

# Intelligente Datenerfassung, Haltung und Bereitstellung innerhalb der Öffentlichen Verwaltung

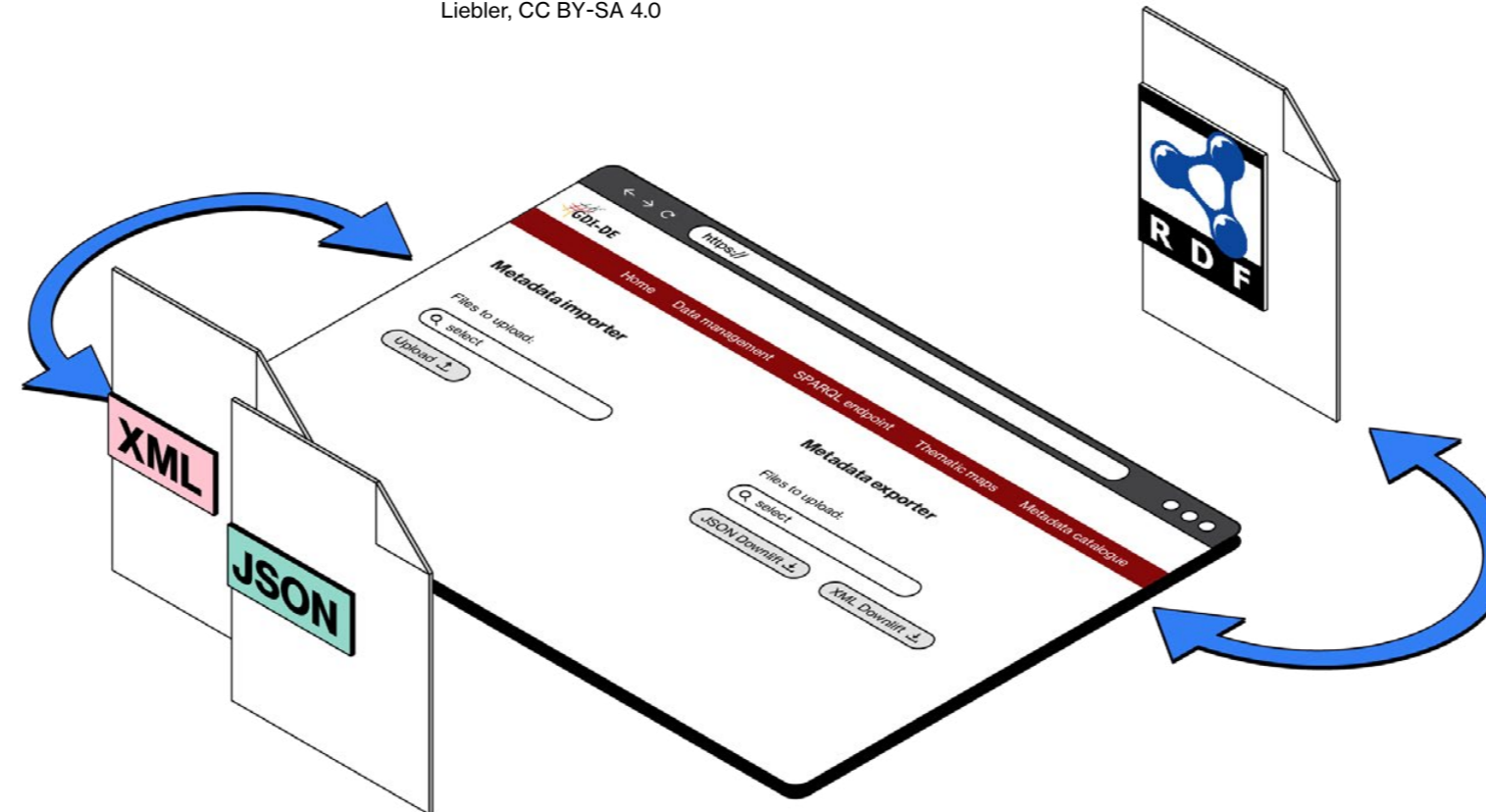
<b>Zeitraum</b>	01.09.2019 – 31.08.2021
<b>Leitung</b>	Prof. Dr.-Ing. Markus Schaffert, Prof. Dr.-Ing. Frank Boochs, Dr. Falk Würriehausen (BKG)
<b>Mitarbeit</b>	Timo Homburg M.Sc, Dr. Claire Prudhomme
<b>Kooperation</b>	Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG)
<b>Förderung</b>	40.000 €

Ziel des Projekts ist der Aufbau und die Integration einer Linked-Data-Infrastruktur im Bundesamt für Kartographie und Geodäsie auf der Basis ausgewählter Datensätze. Es werden Ontologien für Daten- und Metadatenstandards definiert und Best Practices für die semantische Integration in der Praxis getestet.



→ Weiter zum Projekt:  
[i3mainz.hs-mainz.de/projekte/bkgidh/](https://i3mainz.hs-mainz.de/projekte/bkgidh/)

Abbildung:  
Über eine Webanwendung können Dateiformate konvertiert werden; Grafik: Vanessa Liebler, CC BY-SA 4.0



## Aktivitäten 2021

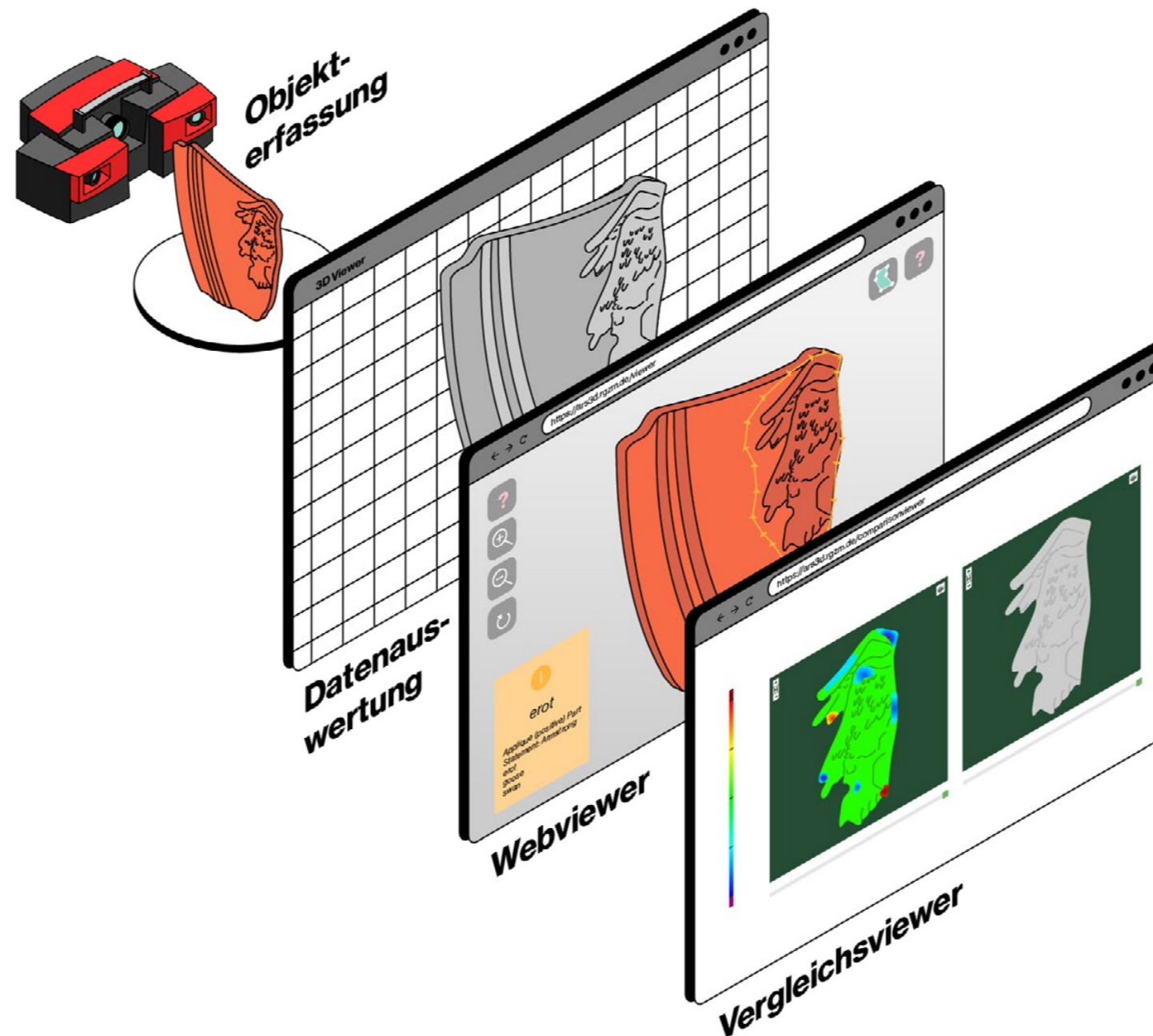
Die erste Phase des Projekts (bis August 2020) führte zur ersten Version einer mit Linked Geodata verknüpften Infrastruktur, die im Web über drei Dienste (SemanticWFS, SemanticImporter und GeoPubby) und in QGIS über das Plugin SPARQLUnicorn zugänglich ist. Die implementierten Dienste, Werkzeuge und Schnittstellen ermöglichen es den Nutzern, Geodaten in einen Triple-Store zu integrieren, sie aber auch zu visualisieren und in Geodatenformate zu exportieren. Das Ende dieser ersten Phase konzentrierte sich auf die Integration verschiedener von der BKG ausgewählter Datensätze in den Triple Store und die Evaluierung der ontologischen Modelle durch die Arbeitsgruppe Architektur der GDI-DE.

Die zweite Phase, (von September 2020 bis August 2021) zielte darauf ab, eine Anwendung bereitzustellen, die es den Nutzern ermöglicht, Geodaten zu suchen, zu visualisieren, zu manipulieren, zu vergleichen und später anzureichern, die von der in der ersten Phase entwickelten verknüpften Geodateninfrastruktur bereitgestellt werden. Der Schwerpunkt lag auf der Entwicklung von Funktionalitäten in Bezug auf den Import, die Visualisierung, die Änderung und den Export von Metadaten. Die Anwendung bietet zusätzlich eine Implementierung von OGC API Records. Sie beinhaltet auch eine Schemaspeicherfunktionalität zur Validierung des Geodatenexports. Schließlich wurde das ontologische Modell erweitert, um Konzepte zu integrieren, die sich auf Zeit und Versionen von Daten beziehen, um Daten mit sowohl Raum- als auch Zeitbezug zu manipulieren und zu verwenden.

# African Red Slip Ware digital – 3D-Dokumentation für die multiperspektivische Analyse einer zentralen Objektgattung der Spätantike

<b>Zeitraum</b>	02.01.2018 – 31.05.2021
<b>Leitung</b>	Prof. Dr.-Ing. Frank Boochs, Univ.-Prof. Dr. Alexandra W. Busch (RGZM)
<b>Mitarbeit</b>	Dr. Ashish Karmacharya, Laura Raddatz M. Sc., Jonas Veller M. Sc.
<b>Förderung</b>	Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), 350.000 €
<b>Kooperation</b>	Römisch-Germanisches Zentralmuseum, Leibniz-Forschungsinstitut für Archäologie (RGZM)

African Red Slip Ware (ARS) ist eine zentrale archäologische Objektgattung der Spätantike. Das Projekt hat zum Ziel, die Bestände des RGZM zu digitalisieren, wissenschaftlich auszuwerten und die gewonnenen Daten für die Forschung online bereitzustellen.



→ Weiter zum Projekt:  
[i3mainz.hs-mainz.de/projekte/ars3d/](https://i3mainz.hs-mainz.de/projekte/ars3d/)

## Aktivitäten 2021

2021 wurde das Projekt erfolgreich abgeschlossen. Die ARS-Sammlung des RGZM, insgesamt 336 Stücke, liegt in Form digitalisierter und originalgetreu texturierter 3D-Modelle vor. Diese bilden die Grundlage für die semantische Modellierung der archäologischen Informationen, welche in einer CIDOC-CRM basierten Ontologie erfasst sind.

Als Hilfsmittel für archäologische Forschungsfragen wurden Geometrievergleiche von ähnlichen Motiven durchgeführt. Dafür wurden die Appliken ausgeschnitten, entzerrt, über ein Matchingverfahren verknüpft und geometrisch miteinander in Bezug gesetzt. Am Ende dieses Prozesses stehen 2,5D Differenzbilder und grafische Darstellungen von lokalen Verschiebungen.

Die 3D-Modelle sowie alle Ergebnisse der Vergleiche stehen in einem interaktiven Webviewer Open Access auf einer eigenen Webseite (<https://ars3d.rgzm.de/>) zur Verfügung. Der Reiter Search führt zu den wesentlichen Ergebnissen, welche unter Objects, Object Features, Interpretations und Comparisons zu finden sind. Ein Link zur Ontologie ist über dem Reiter Datamodel zu finden. Zusätzlich befinden sich die 3D-Modelle zur Langzeitarchivierung in iDAI.objects (<https://arachne.dainst.org/>), der zentralen Objektdatenbank des Deutschen Archäologischen Instituts (DAI).

Abbildung:  
Generierung digitaler  
Zwillinge von ARS Objekten  
durch Objekterfassung,  
Prozessierung und Visua-  
lisierung; Grafik: Vanessa  
Liebler, CC BY-SA 4.0



# i2MON – Integrated Mining Impact Monitoring

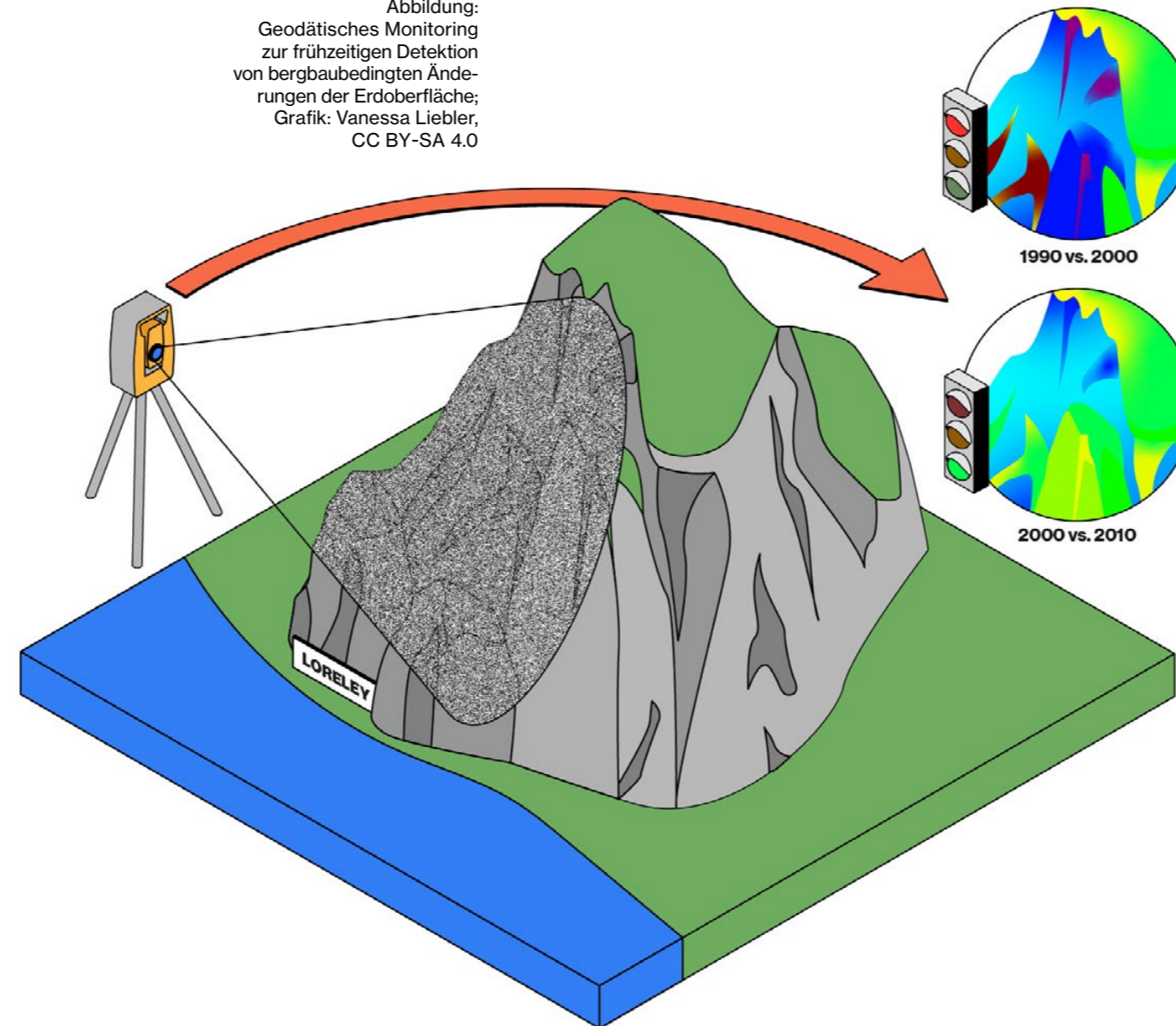
<b>Zeitraum</b>	01.07.2018 – 30.06.2022
<b>Leitung</b>	DMT GmbH & Co. KG, Prof. Dr.-Ing. Jörg Klonowski
<b>Mitarbeit</b>	Denise Becker M.Sc., Lukas Hart M.Sc., Nils Kummert M.Sc., Anna Seegmüller, Silke Sommer M.Sc., Lea Vogel, Laura Raddatz M.Sc.
<b>Kooperation</b>	DMT GmbH & Co. KG; EFTAS Fern- erkundung Technologietransfer GmbH, Instytutu Mechaniki Gorotworu Polskiej Akademii Nauk*IMG PAN, Technische Universiteit Delft, Technische Universität Bergakademie Freiberg, Laserdata GmbH, Lausitz Energie Bergbau AG, AIRBUS Space and Defence GmbH, Polska Grupa Górnicza S.A.

Das Projekt i2MON, genehmigt in der Förderschiene HORIZON2020 RFCS, bündelt die Aktivitäten von zehn forschungsstarken europäischen Institutionen mit dem Ziel, bergbaubedingte Deformationen der Erdoberfläche mittels Monitoring-Techniken zu detektieren, mit effizienten Auswertestrategien zu modellieren und zuverlässig vorherzusagen.



→ Weiter zum Projekt:  
[i3mainz.hs-mainz.de/projekte/i2mon/](http://i3mainz.hs-mainz.de/projekte/i2mon/)

Abbildung:  
Geodätisches Monitoring  
zur frühzeitigen Detektion  
von bergbaubedingten Ände-  
rungen der Erdoberfläche;  
Grafik: Vanessa Liebler,  
CC BY-SA 4.0



## Aktivitäten 2021

Das i3mainz beschäftigte sich im Rahmen von Abschluss- und Projektarbeiten mit Monitoringaufgaben, wie der geodätischen Überwachungsmessung von Bauwerken und Geländeoberflächen und der Detektion von Deformationen via Terrestrischem Laserscanning (TLS). Dabei liegt das Augenmerk nicht auf diskreten, signalisierten Einzelpunkten, wie bei der Methode mit Totalstationen und Prismen, sondern auf Punktwolken aus TLS-flächenbasierten Messungen, die ganze Objektoberflächen repräsentieren.

Um Deformationsanalysen durchführen und Veränderungen ableiten zu können, werden mindestens zwei in verschiedenen Epochen aufgenommene Gebietszustände miteinander verglichen. Dabei können etwa abweichende Vegetationszustände das Ergebnis einer Volumenberechnung negativ beeinflussen. Um diesen Störfaktor zu reduzieren, wurde der Canupo-Algorithmus untersucht.

Speziell im Bergbau ist eine dauerhafte Überwachung mit Alarmgebung als fundiertes Frühwarnsystem wichtig. Um aufgenommene Messwerte in Echtzeit prozessieren, auswerten und visualisieren zu können, wurde ein System entwickelt, welches die Einbindung eines TLS in ein Roboter Operating System (ROS) ermöglicht.

## Ausblick

Derzeit wird an einem Konzept gearbeitet, bei dem Soll- und Ist-Deformationen messtechnisch erfasst werden können. Aufbauend darauf sollen die Algorithmen und Ergebnisse des vorhandenen Sand-Modells, welches Hangrutsch-Szenarien simuliert, quantitativ verifiziert und angepasst werden.

# Ausblick

## Projekterweiterung für BKG-Projekt geplant

Ziel des bisherigen Projektes *Intelligente Datenerfassung, Haltung und Bereitstellung innerhalb der Öffentlichen Verwaltung* war es, die GDI-DE bei Aufbau und Test einer Linked Data Infrastruktur zu unterstützen und die Integration von verschiedenartigen Daten mit weiteren Linked Data Datenrepositorien zu ermöglichen.

Die folgende Projektphase zielt nun darauf ab, die technischen und konzeptionellen Voraussetzungen dafür zu schaffen, damit Linked Data über einen zentralen Zugangspunkt in der GDI-DE konsumiert werden kann. Dazu sollen Triple Store und Funktionen zur Bereitstellung von amtlichen Daten über einen SPARQL-Endpoint in einer Web-Plattform gebündelt werden.



## i3mainz in NFDI4Objects

Das i3mainz ist seit vielen Jahren in der Unterstützung von Projekten aktiv, die raumbezogene Daten insbesondere in der archäologischen Forschung erfassen und auswerten. Dabei zählte das digitale Management dieser Daten häufig zu den Aufgaben. Seit 2019 beteiligt sich das i3mainz daher an der Konsortialbildung im Rahmen des Aufbaus der Nationalen Forschungsdateninfrastruktur (NFDI) und ist als Co-Antragsteller in der Initiative NFDI-4Objects aktiv. Eine positive Förderentscheidung für den 2021 eingereichten Antrag vorausgesetzt, startet das Projekt im Januar 2023 und kann das vom BMBF ab 2022 an der Hochschule geförderte Verbundprojekt *Forschungsdatenmanagement an Fachhochschulen* ergänzen.



## i3mainz im Verbundprojekt EMPOWER

Nach der erfolgreichen Zusammenarbeit mit dem Hessischen Landeskriminalamt (HLKA) in Wiesbaden soll die Tatortanalyse weiterhin eine Rolle in der Forschung am i3mainz spielen. Im Rahmen des Verbundprojekts *EMPOWER* innerhalb der Hochschule Mainz soll das Thema daher zukünftig in Richtung digitaler Bildanalyse und Deep Learning ausgebaut werden.

Abbildung rechts:  
Bei NFDI4Objects stehen die Bedarfe der Community im Fokus;  
Grafik: Vanessa Liebler, CC BY-SA 4.0

Abbildung links:  
Die Initiative *Innovative Hochschule* soll Hochschulen unterstützen, sich im Bereich Transfer und Innovation zu profilieren; Logo Innovative Hochschule

## KI-Lab am i3mainz

Im Sommer 2022 wird das i3mainz mit der Errichtung eines KI-Labs beginnen. Dort sollen Lösungen zum Einsatz kommen, welche im Rahmen des interdisziplinären Forschungszentrums *TOPML: Trading Off Non-Functional Properties of Machine Learning* an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz (JGU) erzielten wurden. Das von der Carl-Zeiss-Stiftung geförderte Forschungszentrum wird sich mit den Entscheidungen von Algorithmen im Hinblick auf Transparenz und Fairness sowie Datenschutz befassen und in Verbindung damit die effiziente Nutzung von Ressourcen wie beispielsweise Strom untersuchen.

**i3mainz**  
**Institut für Raumbezogene**  
**Informations- und Messtechnik**  
**Hochschule Mainz**

**Redaktion**  
Nicole Vögtlin Bruhn M.A.

**Gestaltung**  
Vanessa Liebler B.A.

**Verantwortlich**  
Prof. Dr. phil. Kai-Christian Bruhn  
Prof. Dr.-Ing. Thomas Klauer  
Prof. Dr.-Ing. Jörg Klonowski  
Lucy-Hillebrand-Straße 2  
55128 Mainz  
Deutschland

Tel.: 06131/628- 14 60  
Fax: 06131/628- 14 09  
E-Mail: [i3mainz@hs-mainz.de](mailto:i3mainz@hs-mainz.de)

[www.i3mainz.hs-mainz.de](http://www.i3mainz.hs-mainz.de)

DOI: 10.25358/openscience-7537

Der Text des Jahresbericht 2021 des i3mainz by Kai-Christian Bruhn, Thomas Klauer, Jörg Klonowski, Nicole Vögtlin Bruhn steht unter der Creative-Commons-Lizenz Namensnennung 4.0 International. Um eine Kopie dieser Lizenz zu sehen, besuchen Sie <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Die Lizenz umfasst nicht die Abbildungen, für welche die jeweils nachgewiesenen Urheberrechte gelten.