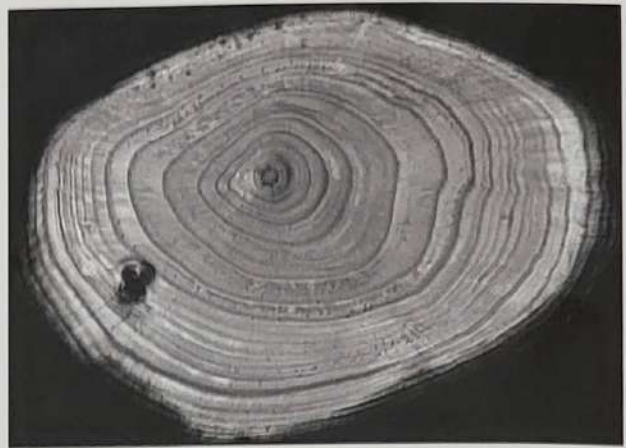
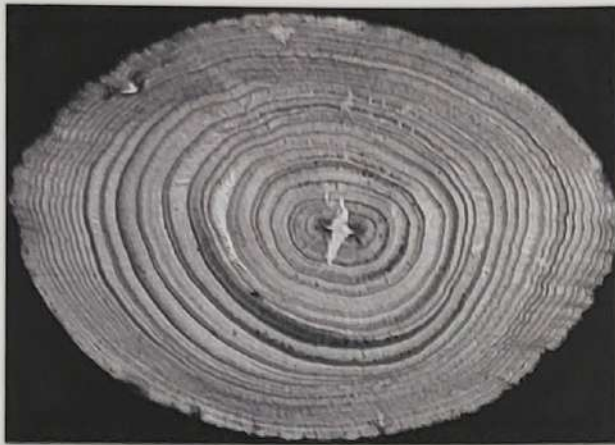


„Das ganze Objekt verstehen“

Magnetresonanzverfahren in der Kulturerbe-Forschung

Magnetresonanzverfahren sind vielleicht am ehesten aus dem Medizinbereich bekannt. Dass sie jedoch auch für die Untersuchung der Bremer Kogge und ähnlicher Objekte unseres Kulturerbes aus organischem Material große Potenziale bergen, wurde auf der transdisziplinären Konferenz „MRI for Cultural Heritage Objects“ der U Bremen Research Alliance diskutiert. Gemeinsam ausgerichtet vom Fraunhofer MEVIS, dem Center for Materials and Processes der Universität Bremen (MAPEX) und dem Deutschen Schifffahrtsmuseum (DSM), trafen sich am 7. und 8. Dezember 2023 Forschende unterschiedlicher Fachdisziplinen in den Räumlichkeiten der Hochschule Bremerhaven. Ziel der Konferenz war das Zusammenbringen neuer Erkenntnisse in Bezug auf die technische Einsatzfähigkeit von Magnetresonanz-Methoden für diverse Biomaterialien aus dem historisch-archäologischen Bereich und für die Analyse konservatorischer Substanzen. Für die naturwissenschaftliche Forschung bietet sich dabei die Möglichkeit, das Spektrum routinemäßig eingesetzter technischer Verfahren anhand unkonventioneller Analyseobjekte und in Bezug auf kulturhistorische Forschungsfragen weiter auszuloten. Kulturgut bewahrende Institutionen wie das DSM interessieren sich für Methoden der „Tiefenerschließung“ von Sammlungsobjekten: Nicht-invasive Verfahren wie die Magnetresonanztomografie (MRT) und die Computertomografie (CT) erlauben Strukturanalysen sensibler Objekte – etwa noch nasser oder durch Polyethylenglycol-Verfahren (PEG) konservierter archäologischer Holzfunde. Auf diese Weise können auch materielle Zustandsveränderungen effektiv überwacht werden. Auf der Tagung kristallisierte sich dies augenzwinkernd in folgendem Statement: „Ihr in der Kulturerbeforschung liebt Artefakte, wir in der medizinischen Bildgebung hassen sie!“

Die bei MRT- und CT-Verfahren entstehenden „operativen Bilder“ (vgl. Krämer 2009; Parikka 2023) liefern jedoch nicht nur zusätzliche Daten über Sammlungsobjekte, sondern können als digitale Bildgebungsformen auch für die museale Präsentation genutzt werden und dort Gegenstände aus der Vergangenheit noch greifbarer und näher erlebbar machen. So helfen sie dabei, möglichst „das gesamte Objekt zu verstehen“, wie es in einem Tagungsvortrag hieß. Die Konferenz diente dabei vorrangig einer Forschungsstandbestimmung zum Einsatz von MRT-Technologien als Ansätze zur Erschließung und Konservierung historischer und archäologischer Objekte, die komplementär zu bereits mehr etablierten Verfahren wie CT-Methoden funktionieren können. Ausgehend von einigen wenigen Vorarbeiten zu diesem Thema (vgl. Kanazawa 2017; Mori u.a. 2021; Longo u.a. 2023) diskutierte sie die epistemischen und anwendungsorientierten Möglichkeiten von MRT-Methoden und perspektivierte konkrete Anschlussforschungen im Rahmen von Pilotstudien, welche die transdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Kulturerbe-Institutionen und naturwissenschaftlichen Forschungseinrichtungen in diesem Bereich weiter intensivieren werden. Archäologische Holzfunde sind in Europa in der Regel unter Sauerstoffabschluss sehr gut erhalten. Die Zellen der Hölzer sind in diesem Milieu mit Wasser ausgefüllt, so dass sich ihre Form erhält und sie nur langsam von anaeroben Bakterien zerstört werden. Trocknen die sogenannten Nasshölzer nach der Bergung aus, kollabieren in der Regel die Holzzellen durch die Verdunstung des Wassers. Die Kontraktionskräfte bei der Verdunstung deformieren die Funde in der Folge unkontrolliert. Sie schrumpfen und reißen, da wichtige Strukturen des Holzes abgebaut sind. Für die Präsentation der Objekte im Museum ist eine vorherige



Links: Schöningen 13 II-4, Fragment eines ca. 300.000 Jahre alten Speers (ID 7108) aus Fichtenholz. Die Holzfunde von 2–5 cm Durchmesser enthalten teilweise über 60 Jahrringe. MRT-Scan des Querschnitts. Eine besondere Herausforderung besteht darin, besonders schmale Jahrringe hochaufgelöst darzustellen.

Rechts: Schöningen 13 II-4, Spitze eines Wurfholzes aus Fichtenholz (ID 7344). MRT-Scan des Querschnitts. (Scans: Deutsches Primatenzentrum GmbH, Göttingen)

Stabilisierung notwendig. Hierfür gibt es spezielle Verfahren, bei denen die Funde vor der abschließenden Trocknung mit Konservierungsmitteln getränkt werden. Etablierte Verfahren sind z.B. die Konservierung mit dem Melaminharz Kauramin 800 (BASF) oder die Imprägnierung mit PEG und anschließende Gefriertrocknung. Am Leibniz-Zentrum für Archäologie in Mainz (LEIZA) wurde eine Referenzsammlung konservierter archäologischer Holzproben aufgebaut (Wittköpper u.a. 2016), die online verfügbar ist (www.rgzm.de/kur). Ein Teil dieser Proben wurde unter anderem mit computertomografischen Verfahren untersucht. Dabei konnten Schadensbilder identifiziert werden, die Hinweise auf Verbesserungen der Konservierungsverfahren geben (Stelzner u.a. 2022).

Wissenschaftler des Niedersächsischen Landesamts für Denkmalpflege (NLD), der Universität Bremen, des Fraunhofer MEVIS und des Deutschen Primatenzentrums in Göttingen (DPZ) brachten Erfahrungen mit MRT-Scans an nass- und trockenkonservierten Holzartefakten an den altsteinzeitlichen Funden von Schöningen ein. Deren Fundort ist ein Seeufer, an dem Jäger und Sammler vor ca. 300.000 Jahren eine Vielzahl von Holzobjekten zurückließen. Unter den Artefakten befinden sich Wurfhölzer und besonders zehn Speere, die sich unter anaeroben Bedingungen und unter Zufuhr von kalkhaltigem Wasser hervorragend erhielten. Zur Untersuchung dieser

einzigartigen Kulturgüter werden ausschließlich zerstörungsfreie Methoden eingesetzt. μ CT-Scans und MRT-Scans spielen hierbei eine entscheidende Rolle und geben unter anderem Aufschluss über die damalige Holztechnologie sowie über die Wachstumsbedingungen der Fichten und Kiefern, die für die Herstellung der Speere verwendet wurden (Milks u.a. 2023 und Abbildungen oben).

Da bei einer MRT-Untersuchung keine ionisierende Strahlung verwendet wird und weil die Proben nicht präpariert werden müssen, ist sie zerstörungsfrei in der Anwendung. Jenseits des üblichen medizinischen Einsatzbereichs, der nur eine Teilmenge möglicher MRT-Gerätekonzepte umfasst, werden immer mehr Geräte für spezifische Anwendungen in anderen Bereichen konstruiert. Solche Erweiterungen des Einsatzbereichs zeigen sich etwa in Forschungen am Fraunhofer IIS in Würzburg. Dort werden Materialien im Hinblick auf molekulardynamische Prozesse analysiert und charakterisiert (Haddad u.a. 2021). Diese Untersuchungsmethode hat somit auch für die Untersuchung von Kulturgütern ein großes Potenzial, indem sie als auf Magnetresonanzeffekten (MR) basierende Messmethode Rückschlüsse über den Anteil gebundenen und freien Wassers in Holzproben ermöglicht – in diesem Fall ohne auf avancierte Bildgebungsverfahren angewiesen zu sein. Am Forschungszentrum Jülich wurde ein mobiles Gerät für MRT-Bildgebung bei Pflanzen entwi-

ckelt, das für die Verwendung außerhalb kontrollierter Laborumgebung geeignet ist. Um die Abbildung von Bäumen im Feld zu ermöglichen, wurde ein halb offener, C-förmiger Permanentmagnet konstruiert. Quantitativer Wassergehalt und Wassermobilität eines Apfelbaums und einer Buche während des Blattaustriebs im Frühjahr konnten so „im Feldversuch“ gemessen werden (Windt u.a. 2021; Meixner u.a. 2021; Herold u.a. 2006). Derartige Verfahren stimulierten direkt praktische archäologische Forschungsfragen, machen sie doch eine Skalierung hin zu Systemen, mit denen archäologische Blockbergungen z.B. aus Mooren in situ durchgemessen werden könnten, zumindest theoretisch denkbar.

Auch in Bremen werden bei baubegleitenden archäologischen Untersuchungen häufig Holzfunde gemacht (Bischof 2023). Vor allem in den Jahren 2007 und 2023 konnten unter Aufsicht der Landesarchäologie Bremen am Teerhof Befunde dokumentiert und Funde geborgen werden, die belegen, dass an diesem Ort im Spätmittelalter Schiffe gebaut wurden (Zwick/Bischof 2007). Im Fokus der Tagung stand daher auch die sogenannte „Bremer Kogge“ am DSM, denn die Geschichte dieses Schiffsfundes ist von Beginn an auch eine Geschichte der Erprobung musealer Konservierungstechniken, besonders in Bezug auf den Einsatz von PEG zur Nassholzkonservierung. Daran haben sich in den letzten zwei Jahrzehnten innovative Verfahrenserprobungen im Bereich der präventiven Konservierung archäologischer Großobjekte angeschlossen. Gemeinsam mit der Jade-Hochschule Oldenburg wurde in einer Forschungskooperation ein Messkonzept zur Ermittlung geometrischer Verformungen der Kogge bei langfristiger Aufrechterhaltung des Museumsbetriebes entwickelt (vgl. Colson 2023). Seit 2020 wurden das geometrische Monitoring mittels photogrammetrischer Messtechnik in Kombination mit einem Bodenmessnetz gemeinsam umgesetzt und geeignete Analysemethoden entwickelt. Eine wichtige Ergänzung zu digitalen Analysen stellen die mikroskopische Artbestimmung sowie mikromorphologische und chemische Charakterisierung von Hölzern dar. Dies verdeutlichten Beifunde aus der

„Bremer Kogge“, wie z.B. ein Rutengeflecht, die am Leibniz-Institut für Werkstofftechnik, Bremen, untersucht wurden (Gelbrich u.a. 2023).

In regem Austausch mit ingenieurs- und technikkwissenschaftlichen Perspektiven, welche die Mitveranstalter von Fraunhofer MEVIS und MAPEX sowie Forschende aus der MR-Community einbrachten, wurden zukunftsweisende Potenziale aus dem umfangreichen Werkzeugkasten der Bildgebung und Materialanalyse diskutiert (Häuser u.a. 2022; Kahl u.a. 2020; Kahl/Ramminger 2012). Im Anschluss an die Konferenz ist für 2024 geplant, die angesprochenen Forschungspotenziale im konstruktiven Austausch weiter zu gestalten. Beispielsweise stellt sich die Frage, inwieweit elastografische MR-Messmethoden an archäologischen Hölzern angewandt werden können und welche Potenziale MR-Analysen – auch jenseits der reinen Bildgebung – für bereits konservierte Hölzer bergen. Erste Pilotuntersuchungen dazu an Beifunden der „Bremer Kogge“ aus dem DSM und an Objekten aus den Ausgrabungen der Niedersächsischen Landesarchäologie werden bereits unternommen. Weitere internationale Kooperationspartner aus dem Kreis der maritimen Museumsnetzwerke des DSM und dem Forschungsbereich Maritime Archäologie haben bereits ihr Interesse bekundet, mit der komplementären Hinzunahme von MR-Technologien in ihren Analysepark ebenfalls das „gesamte Objekt“ noch besser zu verstehen.

Literatur:

- Bischof, D. (2023): Bauen über den Fluss. Hochmittelalterliche Bauhölzer unter einer Steinkammer im Bremer Martiniviertel. In: Rieger, D. (Hrsg.): Vom Ende her denken. Beiträge zur Archäologie im Hanseraum und darüber hinaus. Rahden/Westf. 2023, S. 23–37.
- Colson, A. (2023): Spatial monitoring of the Bremen Cog: Long-term preservation of archaeological wooden ships in museums. Bamberg 2023.
- Gelbrich, J., Frick, J., Gänz, P., Simon, S., Conrad, S., Reichert, M. (2023): Long-term properties of treated waterlogged archaeological wood: A comparative study of three treatments. In: Proceedings of the 15th ICOM-CC Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Mainz 2023, S. 67–75.

- Haddad, D., Mörchel, Ph., Hildenbrand, M., Hiller, K.-H. (2021): Selected Magnetic Resonance applications for non-destructive material testing. In: *tm – Technisches Messen* 88 (1), 2021, S. 17–23, <https://doi.org/10.1515/teme-2019-0149>.
- Häuser, L., Erben, J., Pillot, G., Kerzenmacher, S., Dreher, W., Küstermann, E. (2022): In vivo characterization of electroactive biofilms inside porous electrodes with MR Imaging. In: *RSC Advances* 12, 2021, S. 17784–17793, <https://doi.org/10.1039/d2ra01162j>.
- Herold, V., Mörchel, P., Faber, C., Rommel, E., Haase, A., Jakob, P.M. (2006): In vivo quantitative three-dimensional motion mapping of the murine myocardium with PC-MRI at 17.6 T. In: *Magnetic Resonance in Medicine* 55 (5), 2006, S. 1058–1064, <https://doi.org/10.1002/mrm.20866>.
- Kahl, W.-A., Ramminger, B. (2012): Non-destructive fabric analysis of prehistoric pottery using high-resolution X-ray microtomography: A pilot study on the late Mesolithic to Neolithic site Hamburg-Boberg. In: *Journal of Archaeological Science* 39, 2012, S. 2206–2219.
- Kahl, W.-A., Yuan, T., Bollermann, T., Bach, W., Fischer, C. (2020): Crystal surface reactivity analysis using a combined approach of X-ray micro-computed tomography and vertical scanning interferometry. In: *American Journal of Science* 320 (1), 2020, S. 27–52, <https://doi.org/10.2475/01.2020.03>.
- Kanazawa, Y. (2017): Internal evaluation of impregnation treatment of waterlogged wood: Relation between concentration of internal materials and relaxation time using magnetic resonance imaging. In: *Magnetic Resonance Imaging* 38, 2017, S. 196–201.
- Krämer, S. (2009): Operative Bildlichkeit. Von der „Grammatologie“ zu einer „Diagrammatologie“? Reflexionen über erkennendes „Sehen“. In: Heßler, M., Mersch, D. (Hrsg.): *Logik des Bildlichen. Zur Kritik der ikonischen Vernunft*. Bielefeld 2009, S. 94–122 <https://doi.org/10.1515/9783839410516-003>.
- Longo, S., Egizi, E., Stagno, V., di Trani, M.G., Marchelletta, G., Gili, T., Fazio, E., Favero, G., Capuani, S. (2023): A multi-parametric investigation on waterlogged wood using a Magnetic Resonance Imaging clinical scanner. In: *Forests* 14 (2), 2023, S. 276–1–276-22, <https://doi.org/10.3390/f14020276>.
- Meixner, M., Kochs, J., Foerst, P., Windt, C. (2021): An integrated magnetic resonance plant imager for mobile use in greenhouse and field. In: *Journal of Magnetic Resonance* 323, 2021, Article 106879, <https://doi.org/10.1016/j.jmr.2020.106879>.
- Milks, A., Lehmann, J., Leder, D., Sietz, M., Koddenberg, T., Böhner, U., Wachtendorf, V., Terberger, T. (2023): A double-pointed wooden throwing stick from Schöningen, Germany: Results and new insights from a multianalytical study. In: *PLoS ONE* 18 (7), e0287719, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0287719>.
- Mori, M., Kuhara, S., Kobayashi, K., Suzuki, S. (2021): Nondestructive visualization of polyethylene glycol impregnation in wood using ultrashort echo time 3D imaging. In: *Journal of Cultural Heritage* 50, 2021, S. 43–48, <https://doi.org/10.1016/j.culher.2021.05.008>.
- Muskalla, W., Wittköpper, M. (2009): Das KUR Projekt „Massenfunde in archäologischen Sammlungen“. In: *Restaurierung und Archäologie*. Mainz 2009, S. 133–136.
- Parikka, J. (2023): Operational images: From the visual to the invisible. Minneapolis 2023, <https://doi.org/10.5749/9781452970929>.
- Stelzner, J., Stelzner, I., Martinez-Garcia, J., Gwerder, D., Wittkoepper, M., Muskalla, W., Cramer, A., Heinz, G., Egg, M., Schuetz, P. (2022): Stabilisation of waterlogged archaeological wood: The application of structured-light 3D scanning and micro computed tomography for analysing dimensional changes. In: *Heritage Science* 10, 2022, S. 1–25, <https://doi.org/10.1186/s40494-022-00686-6>.
- Windt, C., Nabel, M., Kochs, J., Jahnke, S., Schurr, U. (2021): A mobile NMR sensor and relaxometric method to non-destructively monitor water and dry matter content in plants. In: *Frontiers in Plant Science* 12, 2021, Article 617768, <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.617768>.
- Wittköpper, M., Muskalla, W., Brather, S., Le Boedec-Moesgard, A., Gebhardt, S., Klönk, S., André, C., Schmidt-Ott, K., Smith, W. (2016): The KUR (conservation and restauration) project: A comparison of different methods to preserve waterlogged wood. In: Grant, T., Cook, C. (Hrsg.): *Proceedings of the 12th ICOM-CC Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Istanbul, 13–17 May 2013*. Paris 2016, S. 134–143.
- Zwick, D., Bishop, D. (2007): Werften und Wracks am Weserufer. Vorbericht über die Grabung Beluga auf dem Teerhof 2007. In: *Bremer Archäologische Blätter* 7, 2005–2008, S. 93–110.