

Zeitschrift:	Archäologie Bern : Jahrbuch des Archäologischen Dienstes des Kantons Bern = Archéologie bernoise : annuaire du Service archéologique du canton de Berne
Herausgeber:	Archäologischer Dienst des Kantons Bern
Band:	- (2009)
Artikel:	Cyclododecan : neue Erkenntnisse zum Sublimationsprozess und der Elimination des Produktes
Autor:	Bruhin, Stefanie
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-726616

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 03.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Cyclododecan

Neue Erkenntnisse zum Sublimationsprozess und der Elimination des Produktes

Stefanie Bruhin

Der folgende Text fasst die Untersuchungen und Resultate einer Diplomarbeit im Fachbereich Konservierung-Restaurierung an der HEAA Arc von La Chaux-de-Fonds zusammen. Die Diplomarbeit wurde im Archäologischen Dienst des Kantons Bern (ADB) geschrieben und beschäftigt sich mit dem flüchtigen Bindemittel Cyclododecan (CDAN) und dessen Einsatz in der Konservierung bzw. Restaurierung von archäologischen Objekten. Die Arbeit baut auf vorhergehende Forschungs- und Facharbeiten auf und beschäftigt sich im Besonderen mit der charakteristischen Eigenschaft des Produktes: der Fähigkeit zu Sublimieren.

Das CDAN stammt aus der Industrie und fand in der Mitte der 1990er-Jahre des 20. Jahrhunderts Eingang in die Konservierung und Restaurierung. Dies dank seiner Eigenschaft, sich bei Raumtemperatur nach einiger Zeit zu verflüchtigen. Dadurch bietet es sich zur temporären Festigung, zur Verstärkung und zum Schutz von Oberflächen an. Zusätzlich wird es als Trenn-, Füll- und Klebemittel verwendet. Nach und nach wurde das Produkt in den verschiedenen Spezialisierungsgebieten eingeführt und findet schlussendlich auch Verwendung in die archäologische Konservierung bzw. Restaurierung.



Abb. 1: Anwendung der CDAN-Schmelze mit der Sprühpistole auf Fragmente römischen Terrazzoverputzes in Jegenstorf, Solothurnstrasse.

Im Gegensatz zu den üblichen Festigungsmitteln muss CDAN nicht mit Lösungsmitteln entfernt werden und kann bei Bergungen zu verschiedenen Zwecken eingesetzt werden. Durch das direkte Auftragen auf die Oberfläche dient es als Festigungsmittel. Wird es mit einem Träger (z.B. Baumwollgaze) verstärkt, übernimmt es die Rolle einer direkt anhaftenden Verstärkung. Außerdem kann es zur Verstärkung bei Blockbergungen verschiedener Grösse und Komplexität dienen (Abb. 1).

Das Ziel der Diplomarbeit war ein besseres Verständnis des Sublimationsablaufes sowie eine Einschätzung der Entferbarkeit des Produktes und der damit verbundenen Risiken. Anhand des gewonnenen Wissens sollten die Weiterbearbeitung der mit CDAN behandelten Objekte in der Restaurierungswerkstatt und spätere Interventionen und Analysen besser geplant werden können.

Um den Sublimationsablauf und die beeinflussenden Faktoren zu verstehen, wurden gravimetrische und thermoanalytische Untersuchungen an der Hochschule der Künste Bern durchgeführt. Die gravimetrische Methode beinhaltete das Wägen von mit CDAN behandelten Probekörpern aus unterschiedlichen Materialien. Diese wurden verschiedenen sublimationsbeeinflussenden Faktoren ausgesetzt. Die Messwerte wurden statistisch ausgewertet. Die Thermoanalytik dient zur präzisen Untersuchung der Sublimationskinetik. Dabei wird der Phasenwechsel anhand von Abgabe oder Absorption von Energie, oder durch

Gewichtszunahme und -abnahme aufgezeichnet. Aufbauend auf diese Messungen bietet die Thermoanalytik interessante Optionen zur Simulation des Sublimationsverhaltens bei bestimmten Temperaturbedingungen (Abb. 2). Beide Untersuchungen führten zum Schluss, dass die Sublimation durch Beeinflussung der Faktoren Temperatur, Raumvolumen und Druck stark verzögert oder beschleunigt werden kann. Theoretisch ist es also möglich, die CDAN-Schicht auf einem Objekt in wenigen Stunden bis Tagen zu entfernen oder mehrere Monate bis Jahre zu erhalten.

Als nächster Schritt wurde das Risiko von Rückständen im Zusammenhang mit verschiedenen archäologischen Materialien untersucht. Dazu wurde zuerst die Reinheit des CDAN überprüft. Mit Gaschromatographie und Gaschromatographie mit Massenspektrometer wurden keine Unreinheiten entdeckt. Erst auf den Probekörpern aus archäologischen Materialien wurden, nach beschleunigter Sublimation nebst CDAN-Rückständen auch Cyclododecanon, Dodecenol und Tetradecenol gefunden. Dabei variierte die Menge je nach Material, überschritt jedoch in allen Fällen 0,1% der ursprünglich angewendeten Menge kaum. Ob es sich bei Cyclododecanon, Dodecenol und Tetradecenol um Sekundärprodukte oder Verunreinigungen handelt, bleibt unklar. Die vollständige Entferbarkeit von CDAN ist deshalb in Frage zu stellen, kann jedoch durch die geringe Menge der Rückstände relativiert werden.

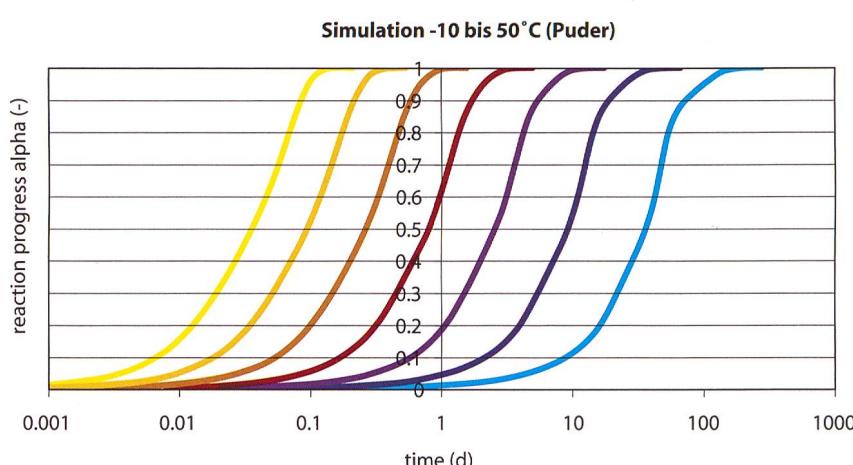


Abb. 2: Logarithmische Darstellung des simulierten Reaktionsverlaufes der Sublimation von CDAN-Puder bei isothermen Temperaturen von -10, 0, 10, 20, 30, 40 und 50°C (Messung : Mettler Toledo TGA/SCTA 851e und STARe Software 8.10. Auswertung: AKTS-Thermokinetics-Software 2.56).

B-6122

Zellulose SIGMA
 $D^{14}C = (257,5 \pm 2,7) \text{‰}$

$\delta^{13}\text{C} = (-24,0 \pm 0,2) \text{‰}$

Zellulose Cyclododecan behandelt
 $D^{14}C = (260,0 \pm 2,9) \text{‰}$

$\delta^{13}\text{C} = (-24,0 \pm 0,2) \text{‰}$

B-9191

Holz VIRI 2007 Sample L
 $D^{14}C = (-240,9 \pm 2,2) \text{‰}$

$2210 \pm 30 \text{ Jahre BP}$

$\delta^{13}\text{C} = (-25,3 \pm 0,2) \text{‰}$

Holz Sample L Cyclododecan behandelt
 $D^{14}C = (-240,1 \pm 2,2) \text{‰}$

$2210 \pm 30 \text{ Jahre BP}$

$\delta^{13}\text{C} = (-25,4 \pm 0,2) \text{‰}$

B-8739

Holz Riedberg
 $D^{14}C = (-403,5 \pm 2,0) \text{‰}$

$4150 \pm 30 \text{ Jahre BP}$

$\delta^{13}\text{C} = (-25,3 \pm 0,2) \text{‰}$

Holz Riedberg Cyclododecan behandelt
 $D^{14}C = (-402,7 \pm 1,9) \text{‰}$

$4140 \pm 30 \text{ Jahre BP}$

$\delta^{13}\text{C} = (-23,1 \pm 0,2) \text{‰}$

B-9190

Holz VIRI 2007 Sample K
 Holz Sample K Cyclododecan behandelt

$>58\,000 \text{ Jahre BP}$

$>58\,000 \text{ Jahre BP}$

Abb. 3: Resultate der Datierungen des Radiocarbon-Labors des Physikalischen Institutes der Universität Bern (unkalibriert). Dabei steht die ursprüngliche Datierung über der Datierung nach der CDAN-Behandlung. Links oben steht jeweils die Probennummer und in der oberen Mitte der Name der Probe. $D^{14}C$ bezeichnet die Abweichung der ^{14}C -Aktivität der Probe im Vergleich mit der ^{14}C Aktivität eines Eichgases in Promille. Bei der Berechnung von $D^{14}C$ werden durch Normierung auf $\delta^{13}\text{C}$ mögliche Fraktionierungen berücksichtigt. $\delta^{13}\text{C}$ gibt an wie weit es in der Natur und/oder im Labor zu einer Verschiebung in der isotopenmässigen Zusammensetzung des Kohlenstoffes, d.h. zu einer Fraktionierung gekommen ist. Rechts stehen die Altersbestimmungen, auf Jahre BP gerundet.

Aufbauend auf diese Resultate wurde das Risiko der Verfälschung der Radiokarbondatierung betrachtet. Die Methode ist sehr sensibel auf Kontaminationen mit Kohlenstoffen aus der Petrochemie, zu denen auch CDAN gehört. Vier C14-datierte Proben unterschiedlichen Alters wurden mit CDAN behandelt und nach beschleunigter Sublimation mit der konventionellen Methode erneut datiert. Die für die Altersbestimmung erforderliche Präparation, die Aufbereitung und die Datierung des Probematerials erfolgten im Radiokarbonlabor des Physikalischen Instituts der Universität Bern. Es wurde keine Verfälschung des Alters der Proben festgestellt (Abb. 3). Nicht klar ist, ob dies an einer vollständigen Sublimation oder an der Elimination von Rückständen während der Säuren-Basen-Vorbehandlung der Radiokarbondatierung liegt. Trotzdem sollte das Produkt mit Bedacht angewendet werden und wenn möglich sollten Proben datiert werden, welche nicht behandelt wurden.

Im Rahmen des Diplompraktikums am ADB konnten mehrere Bergungen als Fallbeispiele ausgeführt werden, bei welchen die beschleunigte, verlangsamte und selektive Sublimation getestet wurden. Es handelte sich um Fragmente römischen Wandverputzes in Jegenstorf, Solothurnstrasse, eine stark degradierte Wandmalerei in Kallnach, Hinterfeld, und Gebeine zweier bronzezeitlicher Frauenbestattungen in Spiez, Einigen.

Mit dem bestehenden Wissen zur Anwendung und dem neuen Wissen zur Elimination, kann CDAN als Ergänzung oder Alternative zu bestehenden Bergungstechniken gezählt werden. Als Ausblick kann folgender zusätzlicher Forschungsbedarf genannt werden:

- Abklärung des Risikos von chemischen und physikalischen Veränderungen der Objekte durch die CDAN-Anwendung,
- Abklärung ob Kontamination auch durch CDAN-Dämpfe erfolgen kann und
- Fragen nach der Langzeitstabilität des Produktes.

Ausserdem sollten die Gesundheitsrisiken nicht ausser Acht gelassen werden, da diese zum heutigen Zeitpunkt, gerade in Anbe tracht der grossen verwendeten Mengen an geschmolzenem CDAN, ungenügend abge klärt sind.

Zusammenfassung

Das flüchtige Bindemittel CDAN wird in den letzten Jahren vermehrt im Bereich der Kon servierung bzw. Restaurierung von archäo logischen Objekten angewendet. Als wichtige Ergänzung der Entwicklung der Anwen dungs- und Bergungstechniken wurde in einer Diplomarbeit der HEAA Arc die anschlies sende Elimination untersucht. Dabei wurden im Speziellen der Sublimationsprozess, die Rückstände und die mögliche Verfälschung der Radiokarbonatierung betrachtet.

Literatur

Stefanie Bruhin, Sublimation von Cyclododecan. Unpublizierte Diplomarbeit, HEAA Arc. La Chaux-de-Fonds 2008.

Hans Michael Hangleiter, Elisabeth Jägers und Erhard Jägers, Flüchtige Bindemittel. Zeitschrift für Kunsttech nologie und Konservierung 2, 1995, 385–392.

Frédérique-Sophie Tissier, Le cyclododécane en archéo logie : Tests et applications pratiques. Unpublizierte Masterarbeit, Université Paris 1, Panthéon-Sorbonne. Paris 2007.