

**This is the preprint version of the contribution published as:**

**Kraus, M., Roland, U.** (2021):  
Mit Radiowellen gegen Holzschädlinge  
*B+B Bauen im Bestand* **44** (3), 38 - 43

## **Radiowellen gegen Holzschädlinge**

**Markus Kraus<sup>1,2</sup> und Ulf Roland<sup>2,3</sup>**

<sup>1</sup> RWInnoTec GmbH, Schöppenwinkel 11, 04435 Schkeuditz, markus.kraus@rwinnotec.de

<sup>2</sup> Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ, Permoserstr. 15, 04318 Leipzig, markus.kraus@ufz.de, ulf.roland@ufz.de

<sup>3</sup> Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur (HTWK) Leipzig, FZE, Eilenburger Str. 13, 04317 Leipzig, ulf.roland@htwk-leipzig.de

**Chemikalienfreier Holzschutz durch Erwärmung mit Radiowellen** – Im Rahmen eines von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt im Netzwerk RWTec geförderten Forschungsprojektes [1] entwickelten das Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ) und die Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur (HTWK) Leipzig in Zusammenarbeit mit Praxispartnern ein Verfahren, mit dem durch eine kontrollierte Erwärmung Holzschädlinge abgetötet werden können. In der Regel sind dabei Temperaturen von 55°C bis 60°C ausreichend. Durch das Radiowellen-Verfahren kann der Einsatz kritischer Chemikalien wie chlorhaltiger Biozide vermieden werden. Der Einsatz wurde an unterschiedlichen Objekten erfolgreich demonstriert, wobei das Einsatzpotenzial von der Sanierung von Dachstühlen bis zur Behandlung von wertvollen Kunstgegenständen reicht. Die RWInnoTec GmbH, ein auf die Anwendung der Radiowellen-Technologie spezialisiertes Start-up treibt die Überführung in die Praxis gemeinsam mit Partnern aus Wirtschaft und Forschung voran.

### ***Die Situation und das Ende des Traums von der Allzweckchemikalie***

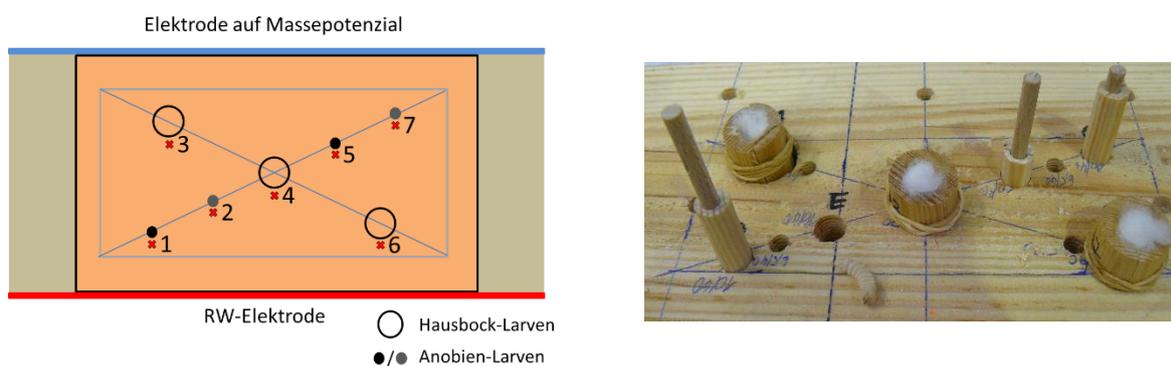
Der Schutz von baulichen Konstruktionen, aber auch Kunst- und Kulturgütern aus Holz ist eine Aufgabe, der sich Fachleute und Nutzer bereits seit vielen Jahrhunderten stellen mussten. Die durch Schädlinge wie Anobien und Hausbockkäfer verursachten Schäden sind groß und schon früh wurde versucht, durch den Einsatz von Zusatzstoffen oder Chemikalien die Resistenz zu erhöhen und die Schädlinge abzutöten. Mitte des letzten Jahrhunderts versprach eine neue Klasse von Holzschutzmitteln auf Basis chlorierter Kohlenwasserstoffe eine hohe Schutzfunktion, verbunden mit einer sehr geringen Beeinträchtigung des Menschen. Insbesondere DDT wurde zeitweise als Wundermittel angesehen und in großen Mengen und oft ohne besondere Vorsichtsmaßnahmen beim Insekten- und Holzschutz eingesetzt [2-4]. Weitere typische chlorhaltige Biozide, die weite Verbreitung fanden, sind Lindan und Pentachlorphenol (PCP). In der zweiten Hälfte des zwanzigsten Jahrhunderts wurde dann zunehmend klar, dass die Chlororganika nicht nur gesundheitliche Schäden hervorrufen, sondern sich auch über lange Zeiträume hinweg in der Natur anreichern können und dort kaum abgebaut werden. So fand man diese Verbindungen im menschlichen Gewebe, aber auch in weit entfernten Regionen der Erde wie etwa im Gletschereis [4,5].

### ***Suche nach Alternativen***

Die Suche nach Alternativen, sowohl chemischer als auch anderer Natur, gewann deshalb zunehmend an Bedeutung. Hierbei spielen thermische Methoden wie die Verwendung von Heizmatten, Infrarotstrahlung oder der Einsatz von Mikrowellen eine große Rolle [6]. In den letzten Jahren wurde als weiteres thermisches Verfahren die Radiowellen-Technologie entwickelt, die gegenüber den vorgenannten Methoden einige immanente Vorteile besitzt [7,8]. Durch die Verwendung von elektromagnetischen Wellen mit Frequenzen im MHz-Bereich ist es möglich, unterschiedliche feuchte und trockene Materialien homogen und im Volumen zu erwärmen, um die für die Holzschädlinge letale Temperatur von 60°C überall zuverlässig zu erreichen [1,9].

### ***Kein Wundermittel, aber solide und einsetzbare Technologie mit vielen Vorteilen***

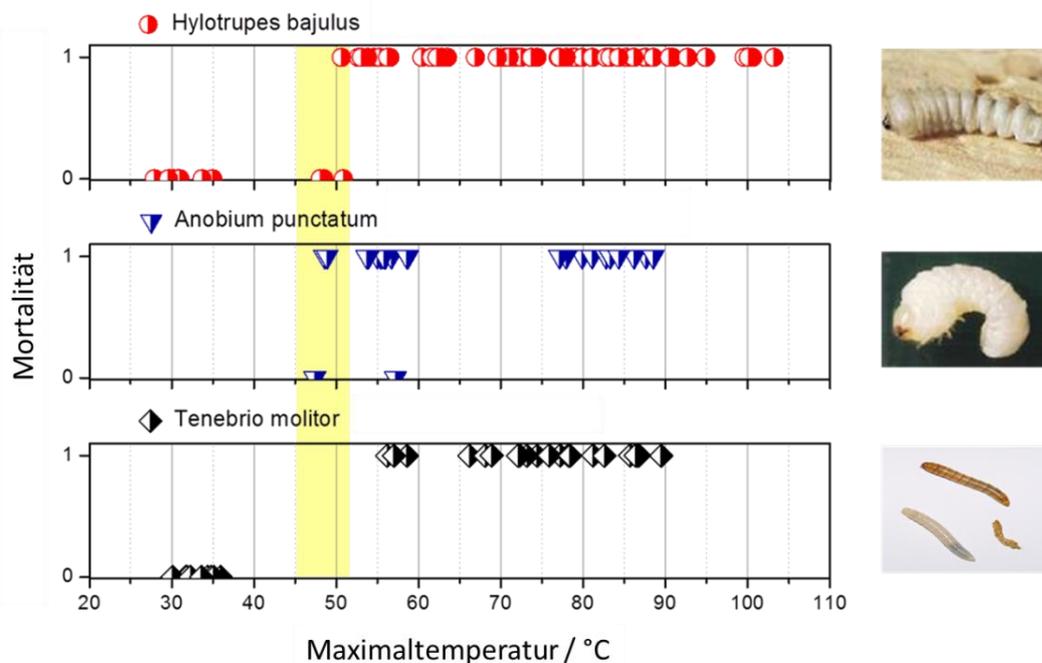
Experimentelle Untersuchungen und Modellierungsarbeiten, die gemeinsam mit der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) durchgeführt wurden, zeigten, dass die Radiowellen-Technologie geeignet ist, um die Letaltemperatur in Holzelementen zu erreichen, ohne dass allerdings ein teilweise postulierter „Mikrowelleneffekt“ in signifikantem Umfang auftritt [9,10]. Der Vorteil der Radiowellen-Technologie gegenüber den Alternativen besteht also vor allem darin, dass die notwendige Temperatur von 55°C bis 60°C im gesamten Volumen schnell und zuverlässig erreichbar ist, ohne dass eine langsame Wärmeleitung für die Aufheizung genutzt werden muss. Abbildung 1 zeigt die bei den Untersuchungen eingesetzte Anordnung mit zwei parallelen Plattenelektroden und den Schädlingsproben in einem Block aus Nadelholz, der kurzzeitig mit Radiowellen auf die gewünschte Temperatur aufgeheizt wurde.



**Abbildung 1** Versuchsaufbau zur Untersuchung der letalen Wirkung auf Schädlingslarven bei der Radiowellen(RW)-Erwärmung von Holzbalken, die RW-Elektroden sind über ein elektronisches Anpassnetzwerk und ein Koaxialkabel mit einem Generator als Hochfrequenz-Spannungsquelle verbunden (Foto: UFZ)

Die Darstellung der Mortalität für verschiedene erwärmte Schädlingslarven (Hausbockkäfer [Hylotrupes bajulus], Gewöhnliche Nagekäfer [Anobium punctatum]) sowie Mehlwürmer

[*Tenebrio molitor*] zum Vergleich in Abbildung 2 zeigt, dass bei den im Regelwerk [6] genannten Temperaturen eine sichere Abtötung möglich ist [9].



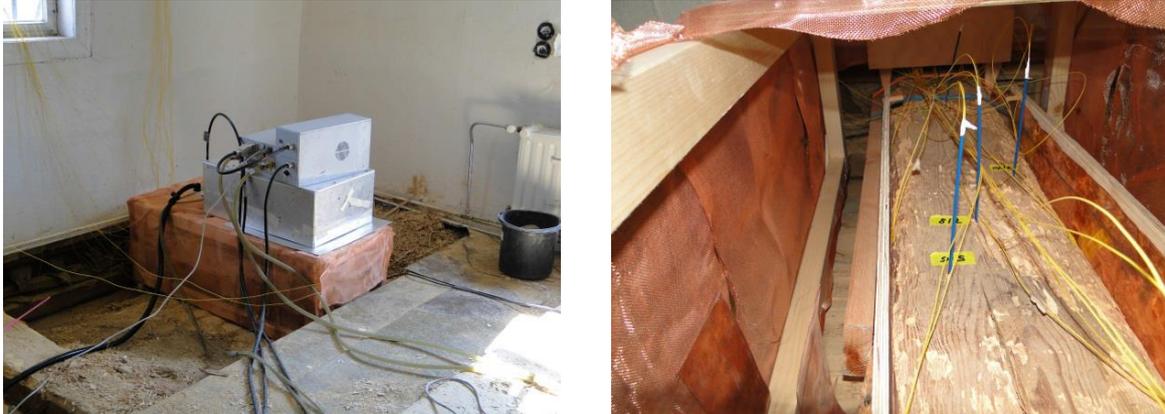
**Abbildung 2** Übersicht über die ermittelte Mortalität der eingesetzten Holzschädlingslarven nach einer Radiowellen-Behandlung bei unterschiedlichen Temperaturen (Haltezeit bei Zieltemperatur < 1 min, 0 – lebend, 1 – abgetötet)

Das Wirkprinzip der Radiowellen-Technologie entspricht grundlegend dem der Mikrowellen-Erwärmung, die allerdings bei Frequenzen im GHz-Bereich (bei der Haushaltsmikrowellen 2,45 GHz) stattfindet. Bei der häufig eingesetzten Radiowellen-Frequenz von 13,56 MHz sind die Eindringtiefen deutlich größer und die Erwärmung ist nicht an das Vorhandensein von Wasser gebunden. Dies wurde beispielsweise für die Erwärmung von Mauerwerk erfolgreich angewendet, wobei eine Kellerwand komplett und in kurzer Zeit getrocknet werden konnte [7,8,11].

Während die Grundkomponenten für die Hochfrequenz-Anwendung, Generator und elektronisches Anpassnetzwerk, weitgehend unverändert bleiben, unterscheiden sich die Geometrien für die eingesetzten Elektroden in Abhängigkeit vom Einsatzgebiet stark. Zur thermisch unterstützten Sanierung kontaminierter Böden ist es oft sinnvoll, Rohrelektroden in Bohrlöcher einzubringen. Für die Mauerwerkstrocknung werden flächige Platten- oder Netzelektroden eingesetzt, wie dies in einem vorangegangenen Beitrag ausführlicher beschrieben wurde [11]. Die Methoden zur Radiowellen-Erwärmung von Katalysatoren, Adsorbentien oder Trockenmitteln in der chemischen Verfahrenstechnik oder der Gastrocknung greifen auf koaxiale Elektroden in Rohrreaktoren zurück [7]. Für den Holzschutz sind je nach konkretem Anwendungsfall verschiedene Elektrodengeometrien sinnvoll, die im Folgenden näher betrachtet werden.

### **Randbedingungen beim thermischen Holzschutz**

Im Zusammenhang mit dem thermischen Holzschutz können unterschiedliche Situationen auftreten, in denen jeweils verschiedene Adaptionen der Radiowellen-Technologie zum Einsatz kommen. Relativ einfach ist die Erwärmung von beidseitig zugänglichen Holzbalken in Dachstühlen oder Fachwerken zu bewerkstelligen (Abbildung 3).



**Abbildung 3** In-situ-Erwärmung eines verbauten Holzbalkens mittels Radiowellen-Einheit, eine kontinuierliche Temperaturmessung wird mittels Infrarotkamera und installierten faseroptischen Messensoren sichergestellt (Fotos: HTWK/UFZ)

Hier wird ebenfalls das klassische Konzept eines Plattenkondensators mit homogenem Feld genutzt. Ist die zu behandelnde flächige Struktur von nur einer Seite zugänglich, so lässt sich das Prinzip einer so genannten kapazitiven Kopplung anwenden, das für die Mauerwerkstrocknung entwickelt und erfolgreich demonstriert wurde [8,11]. Hier wird das Feld über eine Gegenelektrode mit Hilfe der Schirmung in das zu erwärmende Volumen eingekoppelt, ohne dass in das Bauwerk invasiv eingegriffen werden muss, indem z.B. Löcher gebohrt werden. Voraussetzung dafür ist jedoch, dass rückseitig ein im Hochfrequenzbereich leitfähiges Material vorhanden ist, was etwa bei feuchtem Erdreich (bei der Kellertrocknung) der Fall ist. Dies ist im Bereich des Holzschutzes, etwa bei der Behandlung von Parkett oder Wandtäfelungen, allerdings meist nicht der Fall. Aus diesem Grund muss hier ein drittes Elektrodenprinzip zum Einsatz kommen, das zwei ineinander greifende Käme oder alternierende Elektroden in einer Ebene beinhaltet [12].

Eine besondere Herausforderung stellt die Temperaturhomogenität beim thermischen Holzschutz an Kunstobjekten dar, da neben Holz oft auch noch andere Materialien für Verbindungselemente, Verzierungen oder Bemalungen verwendet werden. Diese können thermisch sensibel sein oder Metallkomponenten enthalten, die mit der elektromagnetischen Strahlung wechselwirken. Es hat sich im Allgemeinen bewährt, mobile Objekte in dafür speziell ausgelegten Vorrichtungen zu behandeln, die durch ein entsprechendes Elektroden-Design eine schonende und homogene Erwärmung erlauben, wobei Gegenstände mit Metallkomponenten auch weiterhin einer besonderen Beachtung bedürfen.

Die verschiedenen Varianten der Radiowellen-Erwärmung für den chemikalienfreien Holzschutz sollen im Folgenden an praktischen Einsatzbeispielen veranschaulicht werden.

### ***Solides Handwerk – Erwärmung von Balkenkonstruktionen im Bauwerk***

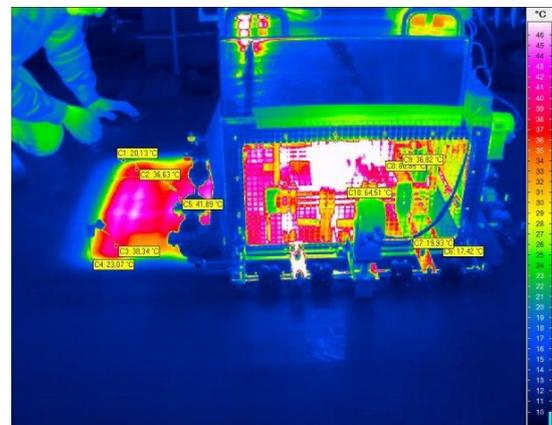
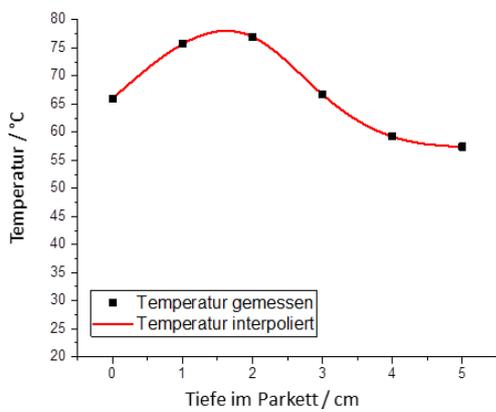
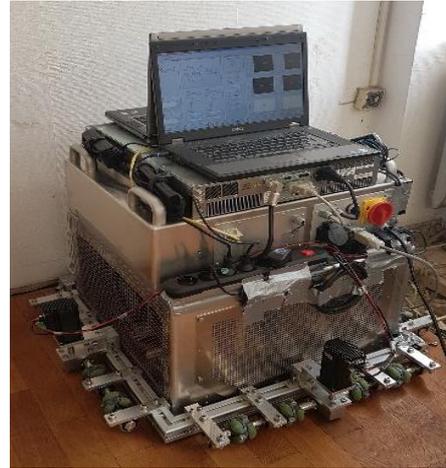
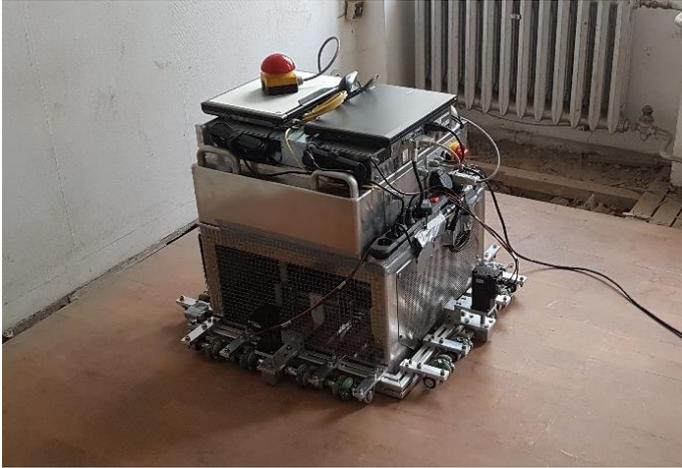
Die Erwärmung von Holzbalken bietet in der Regel sehr gute Voraussetzungen für die Radiowellen-Erwärmung. Dies wurde bereits im Rahmen der vorher beschriebenen Experimente nachgewiesen (vgl. Abbildung 3). Bereits bei Balken durchschnittlicher Dicke werden die großen zeitlichen Vorteile einer dielektrischen Erwärmung im Volumen gegenüber einer klassischen Aufheizung über beidseitig angeordnete Wärmeplatten oder Infrarotstrahler deutlich. Ein Vergleich mit der bereits eingesetzten Mikrowellen-Methode zeigt, dass wesentlich homogenere Temperaturprofile erzielt werden können und dort oft anzutreffende Temperaturspitzen durch kondensierendes Wasser vermeidbar sind. Ausgedehnte Holzkonstruktionen wie etwa lange Dachbalken werden aus Gründen der Praktikabilität am besten abschnittsweise erwärmt, wobei Längen von jeweils etwa 1 m Länge typisch sind.

### ***Ein Roboter der besonderen Art – Mobiles Gerät für den Holzschutz bei Parkettböden***

Der thermische Holzschutz an Parkett- und Dielenböden dürfte eine der am weitesten verbreiteten Anwendungen des Verfahrens sein. Die thermische Sensibilität der Oberflächen kann dabei sehr unterschiedlich und im denkmalpflegerischen Bereich in der Regel sehr hoch sein. Aus diesem Grund ist eine Überhitzung der Oberfläche unbedingt zu vermeiden. Dies führt bei klassischen Methoden wie Heizmatten oder -decken oder Infrarotstrahlern zu dem Dilemma, dass naturgemäß die Erwärmung im Inneren durch eine möglichst hohe Oberflächentemperatur sichergestellt werden muss. Die Radiowellen-Technologie bietet hingegen die Möglichkeit, die Maximaltemperaturen im Inneren zu erzielen und bei Bedarf die Oberfläche sogar kühlen zu können.

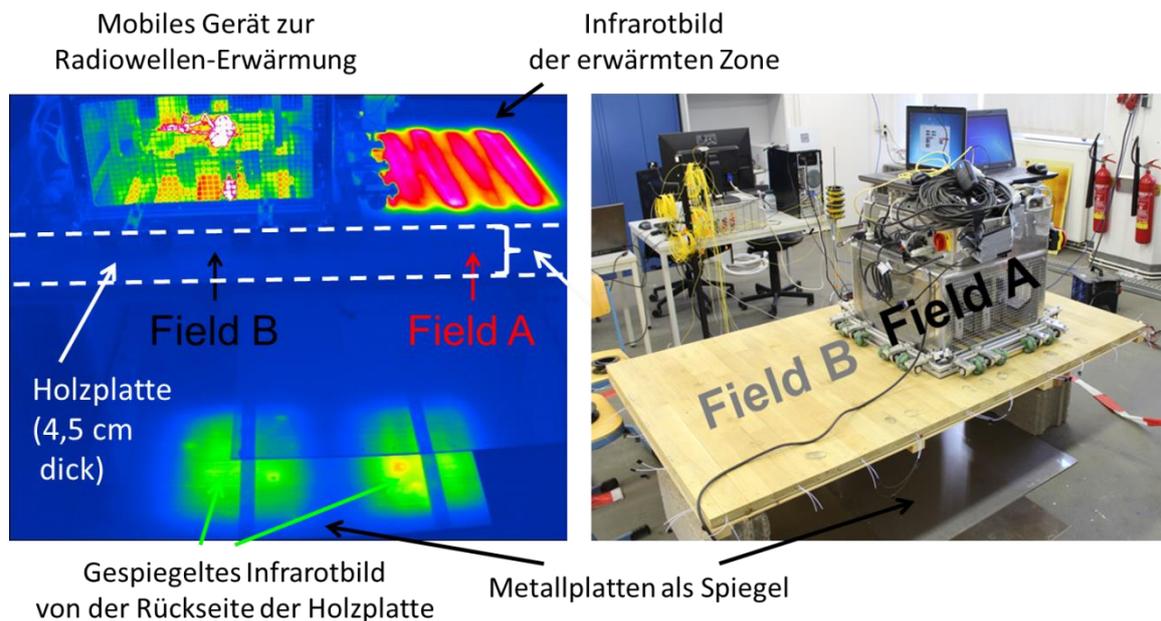
Für die Anwendung der Sanierung von Holzböden wurde eine mobile Radiowellen-Einheit entwickelt, die in der Lage ist, sich selbständig über die Oberfläche zu bewegen und über ein binäres Elektrodensystem von der Oberfläche her Energie ins Innere des Parketts einzukoppeln. Es konnte demonstriert werden, dass der gesamte Parkettaufbau (Tiefe 5 cm) durch Radiowellen auf die Letaltemperatur von 55°C bis ca. 80°C aufgeheizt werden kann, ohne dabei an der Oberfläche eine Temperatur über 65°C in Kauf nehmen zu müssen. Abbildung 4 zeigt das mobile Gerät, das Temperaturprofil im Zentrum der Erwärmung (unten links) sowie die Homogenität innerhalb eines Erwärmungsfeldes (unten rechts).

Um das Einsatzpotenzial abzuklären, wurden die experimentellen Untersuchungen durch Modellierungsarbeiten ergänzt, um die Temperaturprofile im Holzkörper zu simulieren.



**Abbildung 4** Impressionen beim Einsatz der kontrollierten Radiowellen-Parketterwärmung in einem Altbau: Mobile Erwärmungseinheit mit Mess- und Steuerperipherie, Temperaturprofil im Inneren der Holzstruktur (Fotos: HTWK/UFZ)

In Abbildung 5 sind die Ergebnisse eines Demonstrationsversuchs in einem Technikum dargestellt. Die mobile Einheit wurde zwischen den beiden Feldern (Field A und Field B) bewegt, wobei die Aufheizung der Holzplatte an Vorder- und Rückseite durch Infrarotaufnahmen nachgewiesen wurde. Durch auf den Boden als Spiegel positionierte Metallplatten konnte klar gezeigt werden, dass eine Durchwärmung der gesamten Platte zu verzeichnen war.



**Abbildung 5** Demonstrationsversuch zur Erwärmung einer 4,5 cm starken Holzplatte mit Hilfe der mobilen Radiowellen-Einheit (Foto: HTWK)

### ***Unter dem prüfenden Blick der Restauratoren – Thermischer Holzschutz an Kunstobjekten***

Die Untersuchungen ergaben, dass für kleine Objekte die Einbettung in eine Matrix aus Holzpellets eine gute Lösung für die Radiowellen-Behandlung darstellt. Das Schüttbett wird dann von beiden Seiten mit Plattenelektroden versehen, so dass eine homogene Feld- und Temperaturverteilung realisiert werden kann. In Kooperation mit der Stiftung Schloss Friedenstein Gotha und dem Grassi Museum Leipzig wurden unterschiedliche Kunstgegenstände wie Kleinmöbel, Bilderrahmen, Holzplastiken, Schmuckkästchen oder präparierte Tierobjekte kontrolliert erwärmt, um im gesamten Objekt die notwendige Letaltemperatur zu erreichen. Eine Auswahl der untersuchten Objekte ist in Abbildung 6 dargestellt.



Kohlenwasserstoffe entstehen [1]. In diesen Bereichen ist der Forschungsstand unterschiedlich, die Methoden könnten aber durchaus den thermischen, chemikalienfreien Holzschutz mit Radiowellen im Bedarfsfall ergänzen. Letzterer muss sich bereits in der Praxis unter verschiedenen Einsatzbedingungen bewähren.

### **Zusammenfassung**

Mit der Radiowellen-Technologie steht eine neue Option für den thermischen Holzschutz in den Startlöchern, die im Bereich des Holzschutzes eine vielversprechende Alternative zum aus heutiger Sicht kritisch zu sehenden chemischen Holzschutz gerade in Innenräumen darstellt. Dabei ist der vergleichsweise homogene direkte Wärmeeintrag in das zu behandelnde Materialvolumen als besonderer Vorteil zu sehen. Durch eine flexible Umsetzung ist es möglich, die Technologie für verschiedene Einsatzzwecke zu nutzen. Diese reichen von der Behandlung großer und eingebauter Objekte wie Dach- und Deckenbalken oder Parkettböden über den thermischen Holzschutz für kleinere und mobile Stücke wie Kunstobjekte bis hin zur Möglichkeit, früher eingesetzte kritische Chemikalien wieder aus den betreffenden Objekten auszutragen.

### **Danksagung**

Die Autoren danken der Deutschen Bundesstiftung Umwelt und dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie für die finanzielle Unterstützung der Arbeiten im Rahmen der Forschungsprojekte „Methoden zur Dekontamination und zum chemikalienfreien Holzschutz von Kulturgütern mittels Radiowellen am Beispiel der national bedeutsamen Sammlung der Stiftung Schloss Friedenstein (Gotha)“ (FKZ 32404/01-45) bzw. „Kompaktes Anlagekonzept für den chemikalienfreien Holzschutz an planaren Strukturen - HF2D“ (FKZ 16KN041444-8).

### **Literatur**

- [1] U. Roland und Projektpartner, *Methoden zur Dekontamination und zum chemikalienfreien Holzschutz von Kulturgütern mittels Radiowellen am Beispiel der national bedeutsamen Sammlung der Stiftung Schloss Friedenstein (Gotha)*, Abschlussbericht zum DBU-Projekt (AZ 32404/01-45), 2019
- [2] K. Hubner, *Erst gefeiert, dann verdammt*, Chemie unserer Zeit 48 (2014) 226-229
- [3] P. Zalewski (Hrsg.), *Biozidbelastete Kulturgüter, Grundsätzliche Hinweise und Texte zur Einführung in die Problematik*, Abschlussbericht über das EU-/ESF-Projekt „Kleine und Mittlere Unternehmen und Wissenschaft im Dialog. Dekontamination von Kulturgütern“, Frankfurt/Oder, 2014
- [4] C. Simon, *DDT – Kulturgeschichte einer chemischen Verbindung*, Christian Merian Verlag, Basel, 1999
- [5] G.M. Woodwell, P.P. Craig und H.A. Johnson, *DDT in the biosphere: Where does it go?*, Science 174 (1971) 1101–1107

- [6] DIN 68800-4 Holzschutz - Teil 4, *Bekämpfungsmaßnahmen gegen holzerstörende Pilze und Insekten*, Deutsches Institut für Normung, Berlin, 2009
- [7] U. Roland, *From drying masonry to "Burning Water" – Current research on radio-frequency applications in Leipzig*, AMPERE Newsletter 90 (2016) 24-29
- [8] C. Franzen, M. Zötzl, U. Trommler, C. Hoyer, F. Holzer, B. Höhlig und U. Roland, *Microwave and radio wave supported drying as new options in flood mitigation of imbued decorated historic masonry*, Journal of Cultural Heritage 21 (2016) 751-758
- [9] C. Hoyer, C. Pfützte, R. Plarre, U. Trommler, S. Steinbach, K. Klutzny, F. Holzer, C. Rabe, B. Höhlig, F.-D. Kopinke, D. Schmidt und U. Roland, *Chemikalienfreie Bekämpfung von Holzschädlingen durch dielektrische Erwärmung mit Radiowellen und Mikrowellen*, Chemie Ingenieur Technik 86 (2014) 1187-1197
- [10] M. Kraus, F. Holzer, C. Hoyer, U. Trommler, F.-D. Kopinke und U. Roland, *Chemical-free pest control by means of dielectric heating with radio waves: Selective heating*, Chemical Engineering & Technology 41 (2018) 116-123
- [11] C. Hoyer und I. Thümler, *Sanierung von Feuchte- und Schimmelschäden*, Bauen im Bestand 1 (2018) 32-36
- [12] U. Roland, M. Kraus, U. Trommler, F. Holzer und C. Hoyer, *Verfahren und Vorrichtung zur thermischen Behandlung von Feststoffen*, Europäisches Patent EP 17167431.0, 2017
- [13] J. Weber und A. Unger, *Experimente zur Entfernung alter Holzschutz- und Holzfestigungsmittel mit Methyl-tert-butylether (MTBE) aus ungefassten und gefassten Holzproben*, VDR Beiträge 2 (2018) 60-73