

## Untersuchung von historischen Blechblasinstrumenten mittels Neutronen-Imaging

**Abstract** Im Rahmen eines fachübergreifenden Projektes zur Untersuchung historischer Blechblasinstrumente wurden am Paul Scherrer Institut (PSI), Villigen, fünf Instrumente mittels Neutronentomographie untersucht. Diese zerstörungsfreie Methode erlaubt es, sämtliche Dimensionen sowie die Geometrie des Instrumentes zu erfassen. Daneben erlaubt die Methode auch Rückschlüsse auf die Zusammensetzung (Materialien) und den Zustand (Korrosion).

**Einführung** Im Rahmen eines von der KTI geförderten interdisziplinären Forschungsprojektes unter Führung der Hochschule der Künste Bern in Zusammenarbeit von Paul Scherrer Institut (PSI), Empa und Blechblas-Instrumentenbau Egger wurden in Frankreich hergestellte Blechblasinstrumente aus dem 19. Jahrhundert untersucht. Ziel des Projektes ist es, möglichst exakte Kopien der Instrumente herstellen zu können, um den Bedarf solcher Instrumente für die historisch informierte Aufführungspraxis zur Verfügung zu haben. Neben der Untersuchung und metallurgischen Bestimmung der verwendeten Legierungen wurden die einzelnen Instrumente vermessen, um die Geometrie und die Wandstärkenverläufe möglichst exakt festzuhalten. In der Regel erfolgen solche Messungen an einzelnen Punkten entlang der Instrumente. Diese konventionellen Methoden sind begrenzt, da zahlreiche Positionen des Instrumentenkörpers für die Messinstrumente unzugänglich sind, wie etwa ein Großteil der Innenbereiche der Instrumente sowie Stellen welche durch die verschlungene Geometrie nicht erreicht werden können.

Um auch diese unzugänglichen Bereiche zu erschließen, wurden zusätzlich zur konventionellen Vermessung der Instrumente Untersuchungen mittels Neutronen-Imaging durchgeführt. Die so generierte Vermessung wurde durch den Instrumentenmacher beim Nachbau des Horns von Raoux-Millereau (Nr. 34) und der Trompete von Courtois (Nr. 51) eingesetzt (siehe die Beiträge von Friedel und Egger in diesem Band, Seite 463–468 und 469–479).

Beim Neutronen-Imaging handelt es sich um eine zerstörungsfreie Prüfmethode, die nach einem ähnlichen Prinzip wie klassische Röntgenradiographie funktioniert.

<sup>1</sup> Neutron Imaging and Activation Group, Spallation neutron source division ASQ, Paul Scherrer Institut (PSI), CH-Villigen (David Mannes, Eberhard Lehmann); Hochschule der Künste Bern (Adrian von Steiger).

Insbesondere als Methode zur Untersuchung von historischen Instrumenten,<sup>2</sup> archäologischen Objekten<sup>3</sup> und anderem historisch relevanten Kulturgut<sup>4</sup> hat sich die Methode als besonders geeignet erwiesen. Hierbei zeichnet sich die Methode insbesondere wegen ihrer Eignung zur Untersuchung metallischer Objekte aus.<sup>5</sup> Im Gegensatz zu den Röntgenmethoden weist das Neutronen-Imaging allerdings einige Unterschiede auf: Metalle, die Röntgenstrahlen relativ stark abschwächen, sind für Neutronen vielfach transparenter (zum Beispiel Kupfer, Zink, Blei); auf der anderen Seite weisen einige leichte Elemente wie Wasserstoff eine sehr hohe Abschwächung des Neutronenstrahls auf, so dass wasserstoffhaltige Verbindungen wie Wasser oder organisches Material (zum Beispiel Öl, Lack, Fett, Klebstoff) einen hohen Kontrast im resultierenden Neutronenbild liefern. Neutronen-Imaging umfasst dabei die auf der Messung von Neutronentransmission basierenden bildgebenden Verfahren; diese erlauben im Falle der Neutronenradiographie eine zweidimensionale, im Falle der Neutronentomographie eine dreidimensionale Abbildung des Objektes.

In Rahmen des vorgestellten Projektes wurden insgesamt fünf Instrumente mittels Neutronen-Imaging untersucht (siehe die Liste der Projektinstrumente auf Seite 382 f.):

- Klappenflügelhorn (Müller, Lyon, Mitte 19. Jahrhundert), Nr. 20
- Horn (Raoux-Millereau, Paris, Ende 19. Jahrhundert), Nr. 34
- F-Trompete (Besson, London, spätes 19. Jahrhundert), Nr. 42
- F-Trompete (Courtois, Paris, um 1865), Nr. 51
- B-Trompete (Vincent Bach, Typus Mount Vernon; erste Hälfte 20. Jahrhundert)

- 2 Eberhard H. Lehmann und David Mannes: Wood Investigations by means of Radiation Transmission techniques, in: *Journal of Cultural Heritage* 13 (2012), Nr. 3, Supplement, S. 835–843; David Mannes, Sandie Le Conte und Eberhard H. Lehmann: Neutron vs. X-Ray Computed Tomography. Comparative Study on the Example of a Violin, in: *Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Conference of COST Action IE0601. Interaction between Wood Science and Conservation of Cultural Heritage*. Izmir, Turkey, 20–22 October 2010, [www.woodculther.com/wp-content/uploads/2010/10/COST-IE0601-2010-Izmir\\_Mannes.pdf](http://www.woodculther.com/wp-content/uploads/2010/10/COST-IE0601-2010-Izmir_Mannes.pdf) (27. Januar 2015).
- 3 Eckhard Deschler-Erb, Eberhard Lehmann, Lionel Pernet u. a.: The Complementary Use of Neutrons and X-Rays for the Non-Destructive Investigation of Archaeological Objects from Swiss Collections, in: *Archaeometry* 46 (2004), S. 647–661.
- 4 Eberhard Lehmann, Peter Vontobel, Eckhard Deschler-Erb u. a.: Non-Invasive Studies of Objects from Cultural Heritage, in: *Nuclear Instrument Methods A* 542/1–3 (2005), S. 68–75; Joze Rant, Zoran Milic, Janka Istenic u. a.: Neutron Radiography Examination of Objects Belonging to the Cultural Heritage, in: *Applied Radiation and Isotopes* 64 (2006), H. 1, S. 7–12.
- 5 Eberhard Lehmann, Stefan Hartmann und Markus O. Speidel: Investigation of the Content of Ancient Tibetan Metallic Buddha Statues by Means of Neutron Imaging Methods, in: *Archaeometry* 52 (2010), S. 416–428.

Die Instrumente wurden alle mittels Neutronen und zum Vergleich mit Röntgenstrahlung radiographiert.<sup>6</sup> Neben den Radiographien wurde eine Neutronentomographie an der B-Trompete von Bach durchgeführt. Der Fokus des vorliegenden Artikels liegt auf der Beschreibung dieser Methode und ihrer Möglichkeiten und Beschränkungen.

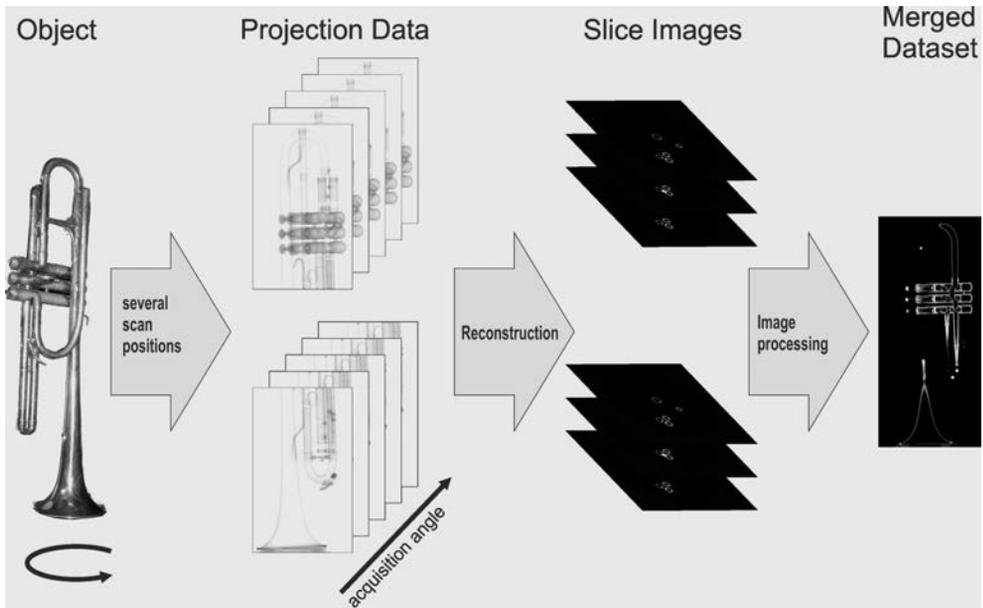
**Methoden** Neutronen-Imaging basiert auf dem Prinzip der Transmissionsmessung: ein Objekt wird Strahlung ausgesetzt, hinter dem Objekt wird die Intensität der transmittierten Strahlung gemessen. Die Strahlung wird auf dem Weg durch das Objekt teilweise abgeschwächt. Die Abschwächung der Strahlung folgt dem Lambert-Beer'schen Gesetz:  $I = I_0 \cdot e^{-\Sigma \cdot z}$

Hierbei ist  $I$  die Intensität des transmittierten Strahls,  $I_0$  die Intensität des einfallenden Strahls,  $\Sigma$  der Schwächungskoeffizient für Neutronen,  $z$  die Dicke der durchstrahlten Probe. Der Schwächungskoeffizient ist ein Materialkennwert, der angibt, in welchem Maß die Strahlung durch das Objekt abgeschwächt wird, was unter anderem von dessen chemischer Zusammensetzung, Dichte und Struktur abhängig ist.

Neutronen-Imaging umfasst zum einen die Neutronenradiographie, durch die ein zweidimensionales Schattenbild des untersuchten Objekts mit dem Detektor aufgenommen wird. Daneben existiert noch die Neutronentomographie. Hierbei wird nicht nur eine Aufnahme des Objektes gemacht, sondern eine Vielzahl von Aufnahmen, wobei die Probe zwischen den einzelnen Aufnahmen immer um einen konstanten Winkel über einen Winkelbereich von mindestens  $180^\circ$  gedreht wird. Diese Projektionen aus verschiedenen Blickwinkeln werden dann mit geeigneten Algorithmen im Computer rekonstruiert. Dabei entstehen Schnittbilder des Objektes quer zu dessen Rotationsachse. Der entstehende Bilderstapel enthält nun die dreidimensionale Information über das untersuchte Objekt, die weiter verarbeitet werden kann.<sup>7</sup>

Die vorgestellten Messungen wurden am Paul Scherrer Institut an der Strahllinie NEUTRA<sup>8</sup> durchgeführt. Die Anlage befindet sich an der Spallationsneutronenquelle

- 6 Eine ausführlichere Beschreibung der Unterschiede von Neutronen- und Röntgenradiographie zur Untersuchung von Blechblasinstrumenten ist zu finden in: David Mannes, Adrian v. Steiger, Eberhard Lehmann u. a.: X-Ray and Neutron Imaging as Complementary Non-Destructive Methods for Investigations of Historical Brasswind Instruments, in: *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Workshop on Diagnostic and Imaging of Musical Instruments*, Florenz (i. V.).
- 7 Ausführliche Beschreibungen zum Prinzip der Computertomographie finden sich bei Herman sowie Kak und Slaney: Gabor T. Herman: *Image Reconstruction from Projections. The Fundamentals of Computerized Tomography*, New York 1980; Avinash C. Kak und Malcolm Slaney: *Principles of Computerized Tomographic Imaging*, New York 1988.
- 8 Eberhard H. Lehmann, Peter Vontobel und Luzius Wiezel: Properties of the Radiography Facility NEUTRA at SINQ and its Potential for Use as European Reference Facility, in: *Nondestructive Test Evaluation 16* (2001), S. 191–202.



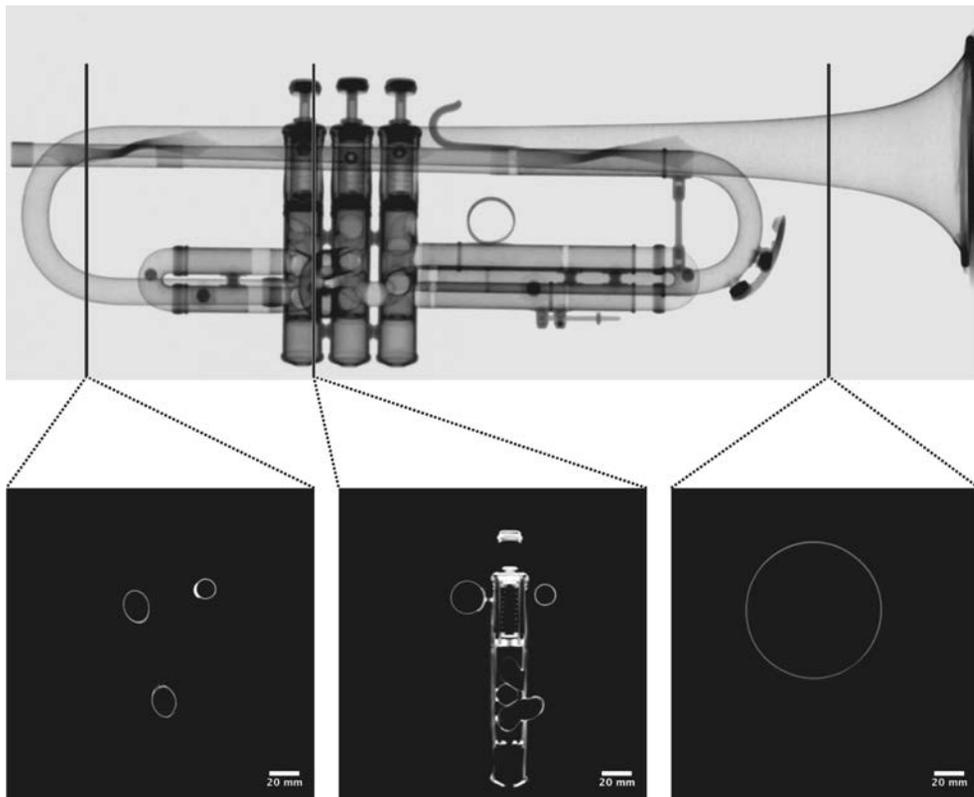
**ABBILDUNG 1** Schematischer Ablauf der Neutronentomographie: Das Instrument wird um  $180^\circ$  gedreht und Projektionen aus 375 Blickwinkeln aufgenommen. Aufgrund der Größe des Instruments wurden zwei Durchläufe in überlappenden Bereichen durchgeführt. Anschließend erfolgte die Rekonstruktion der beiden Bereiche und das Zusammenfügen in einen gesamthaften Volumendatensatz.

SINQ<sup>9</sup> und arbeitet mit Neutronen im thermischen Spektrum. Als Detektor wurde ein Szintillator-CCD-Kamera-System verwendet. Hierbei werden die einfallenden Neutronen vom Szintillator in sichtbares Licht umgewandelt, welches über einen Spiegel auf eine CCD-Kamera mit geeigneter Linse geworfen wird. Als Szintillator wurde ein  $200\ \mu\text{m}$  dicker  ${}^6\text{LiF:ZnS}$ -Schirm benutzt. Die Kamera war eine CCD-Kamera mit  $1024 \times 1024$  Pixeln von Andor, das Gesichtsfeld betrug  $30\ \text{cm}$  woraus eine Pixelgröße von  $300\ \mu\text{m}/\text{px}$  in den erzeugten Bildern resultiert. Für die Tomographie wurden 375 Projektionen über einen Winkelbereich von  $180^\circ$  gemacht, wobei die Belichtungszeit für das einzelne Bild 35 Sekunden betrug. Da das Instrument größer als das verfügbare Gesichtsfeld war, erfolgten zwei Messdurchgänge in unterschiedlichen, sich überlappenden Bereichen des Instrumentes. Die Datensätze für die beiden Bereiche wurden anschließend einzeln rekonstruiert und die daraus resultierenden Datensätze mittels Bildverarbeitung zu einem das gesamte Instrument beinhaltende Volumendatensatz zusammengesetzt. Der schematische Arbeitsablauf ist in Abbildung 1 zu sehen.

9 Bertrand Blau, Kurt N. Clausen, Severian Gvasaliya u. a.: The Swiss Spallation Neutron Source SINQ at the Paul Scherrer Institut, in: *Neutron News* 20 (2009), H. 3, S. 5–8.

**Ergebnisse und Diskussion** Der aus der Tomographie resultierende Datensatz besteht, wie bereits beschrieben, aus einem Stapel Schnittbilder, die quer zur Rotationsachse liegen. Diese Schnittbilder repräsentieren nicht nur ein zweidimensionales Abbild, sondern enthalten auch dreidimensionale Information. Jedes Bild entspricht einem Schnitt durch das untersuchte Volumen mit einer Dicke, die der Pixelgröße der einzelnen Projektionsbilder entspricht – im vorliegenden Beispiel also  $300\ \mu\text{m}$ . Die Bildpunkte des entstandenen Volumendatensatzes werden daher auch nicht mehr als Pixel sondern als Voxel bezeichnet.

In den einzelnen Schnittbildern lassen sich bereits wichtige Informationen über die Beschaffenheit und Dimension des Instrumentes in der jeweiligen Höhe entnehmen (Abbildung 2). Da die Größe der Bildpunkte bekannt ist, lassen sich die Dimensionen und die Geometrie des Instrumentes an beliebigen Stellen im Bild bestimmen. Darüberhinaus enthalten die Grauwerte in den Schnittbildern Information über das Material an beliebigen Punkten des Instruments. Je höher der Wert an einem Bildpunkt, also je heller der Punkt im rekonstruierten Schnittbild erscheint, desto stärker werden die Neutronen



**ABBILDUNG 2** Zusammengesetzte Einzelprojektion des untersuchten Instruments (oben) und die aus der Tomographie resultierenden Schnittbilder (unten). Die Markierungen im Transmissionsbild zeigen die Positionen der Schnittbilder an.

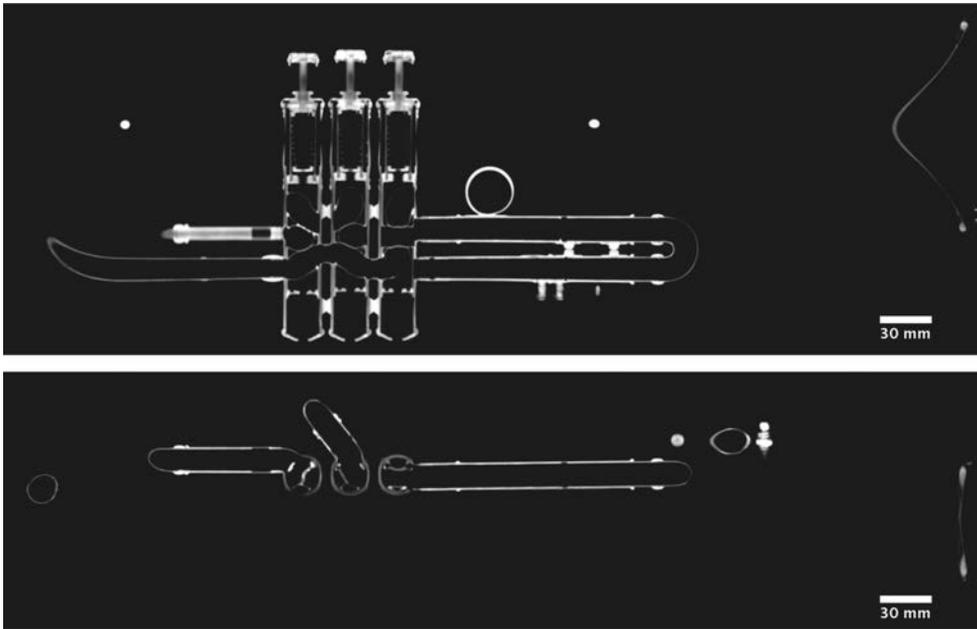


ABBILDUNG 3 Schnittbilder durch den Tomographiedatensatz entlang der Rotationsachse

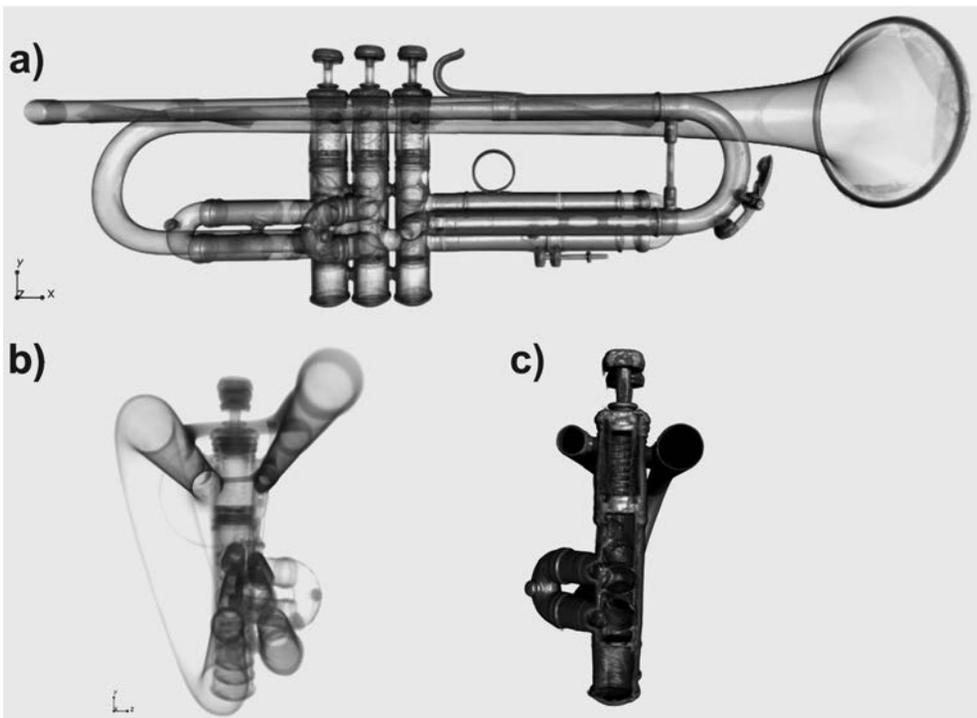


ABBILDUNG 4 3D-Darstellung des Tomographiedatensatzes am Computer; sie erlaubt Ansichten aus beliebigen Winkeln (a) und mit unterschiedlicher Transparenz (b) sowie das virtuelle Aufschneiden des Instrumentes (c).

an diesem Punkt abgeschwächt (für die Transmissionsbilder auf denen die Tomographie basiert, ist es umgekehrt). Damit lassen sich Rückschlüsse über die Beschaffenheit des Materials, wie etwa Zusammensetzung, Dichte, Zustand (zum Beispiel korrodierte Bereiche) ziehen.

Der Volumendatensatz erlaubt es, die Schnitte beliebig auszurichten, beispielsweise entlang der Rotationsachse oder in jedem anderen Winkel (Abbildung 3). Darüber hinaus ist es auch möglich, nicht nur einzelne Schnittbilder des Datensatzes zu evaluieren, sondern eine dreidimensionale Darstellung zu generieren. Diese erlaubt es zudem, das Objekt im virtuellen Raum zu drehen, Teile transparent zu setzen oder aufzuschneiden. Hierdurch wird es möglich, einen umfassenden Eindruck des untersuchten Objektes zu generieren (Abbildung 4).

**Zusammenfassung** Neutronentomographie ist eine zerstörungsfreie Prüfmethode, die sich aufgrund der hohen Transparenz von Metall für Neutronen sehr gut zur Untersuchung historischer Instrumente, aber auch anderer Objekte aus dem kulturhistorischen oder archäologischen Bereich, eignet. Die Methode erlaubt es im Rahmen der Messgenauigkeit, die Dimensionen und Geometrie des Instrumentes an jeder beliebigen Stelle in jeder beliebigen Richtung zu ermitteln. Dies ist besonders interessant für jene Bereiche im Inneren des Instrumentes, die für andere Methoden unzugänglich sind. Daneben erlaubt die Methode auch Rückschlüsse auf Bereiche mit unterschiedlichen Materialeigenschaften, wie beispielsweise Verwendung unterschiedlicher Materialien, Korrosion et cetera.

## Inhalt

**Vorwort** 7

**Cyrille Grenot** La facture instrumentale des cuivres dans la seconde moitié du XIX<sup>e</sup> siècle en France 11

**Claude Maury** Les cors omnitoniques 103

**Daniel Allenbach** Französische Ventilhornsschulen im 19. Jahrhundert 154

**Daniel Lienhard** Werke für mehrere Hörner aus Frankreich 1800–1950 172

**Anneke Scott** Jacques-François Gallay. Playing on the Edge 198

**Martin Mürner** Meifred und die Einführung des Ventilhorns in Frankreich 223

**Jean-Louis Couturier** Aperçu historique de la pratique du cor naturel en France et de son emploi dans les ensembles à vent 234

**Vincent Andrieux** L'univers sonore d'Henri Chaussier. Perspectives sur le jeu des instruments à vent en France au début de l'ère de l'enregistrement (circa 1898–1938) 258

**Michel Garcin-Marrou** L'École française du cor. Fondements historiques, cornistes, facteurs, orchestres et questions de style 303

**Edward H. Tarr** The Genesis of the French Trumpet School 316

**Jeroen Billiet** Belgium, France and the Horn in the Romantic Era. Tradition, Influences, Similarities and Particularities 328

**Martin Skamletz** »... und gar nichts, wodurch sich der eigene schöpferische Geist des Komponisten beurkundete«. Cherubini, Hummel, Konzerte, Opern, Quodlibets und Trompeten in Wien zu Beginn des 19. Jahrhunderts. Teil 2: Aus dem Repertoire der Kaiserin 340

**Ulrich Hübner** Das Cor Chaussier. Ein Praxisbericht 363

**Adrian von Steiger** Historisch informierter Blechblasinstrumentenbau. Ein Projekt zur Erforschung der Handwerkstechniken im Blechblasinstrumentenbau in Frankreich im 19. Jahrhundert 377

**Jean-Marie Welter** The French Brass Industry during the 19<sup>th</sup> Century 384

**Marianne Senn / Hans J. Leber / Martin Tuchschnid / Naila Rizvic** Blechblasinstrumentenbau in Frankreich im 19. Jahrhundert. Analysen von Legierung und Struktur des Messings zugunsten eines historisch informierten Instrumentenbaus 398

**Hans-Achim Kuhn / Wolfram Schillinger** Herstellung bleihaltiger Messingbleche mit modernen industriellen Verfahren 420

- Adrian von Steiger** Zur Vermessung von Wandstärken historischer Blechblasinstrumente 431
- David Mannes / Eberhard Lehmann / Adrian von Steiger** Untersuchung von historischen Blechblasinstrumenten mittels Neutronen-Imaging 439
- Martin Mürner** Blechblasinstrumentenbau im 19. Jahrhundert in Frankreich. Historische Quellen zur Handwerkstechnik 446
- Gerd Friedel** Von der Information zum Instrument 463
- Rainer Egger** Zur Frage der Wandvibrationen von Blechblasinstrumenten. Wie wirkt sich das Vibrationsmuster der Rohrkonstruktion auf die Spielcharakteristik eines Blechblasinstruments aus? 469
- Namen-, Werk- und Ortsregister** 480
- Die Autorinnen und Autoren der Beiträge** 496

ROMANTIC BRASS. FRANZÖSISCHE HORNPRAXIS  
UND HISTORISCH INFORMIERTER BLECH-  
BLASINSTRUMENTENBAU • Symposium 2  
Herausgegeben von Daniel Allenbach, Adrian  
von Steiger und Martin Skamletz

MUSIKFORSCHUNG DER  
HOCHSCHULE DER KÜNSTE BERN

Herausgegeben von Martin Skamletz  
und Thomas Gartmann

Band 6



Dieses Buch ist im Juli 2016 in erster Auflage in der Edition Argus in Schliengen/Markgräflerland erschienen. Gestaltet und gesetzt wurde es im Verlag aus der *Seria* und der *SeriaSans*, die von Martin Majoor im Jahre 2000 gezeichnet wurden. Hergestellt wurde der Band von der Firma Bookstation im bayerischen Anzing. Gedruckt wurde er auf *Alster*, einem holzfreien, säurefreien und alterungsbeständigen Werkdruckpapier der Firma Geese in Hamburg. Ebenfalls aus Hamburg, von Igepa, stammt das Vorsatzpapier *Caribic cherry*. *Rives Tradition*, ein Recyclingpapier mit leichter Filznarbung, das für den Bezug des Umschlags verwendet wurde, stellt die Papierfabrik Arjo Wiggins in Issy-les-Moulineaux bei Paris her. Das Kapitalband mit rot-schwarzer Raupe lieferte die Firma Dr. Günther Kast, Technische Gewebe und Spezialfasererzeugnisse, aus Sonthofen im Allgäu. Im Internet finden Sie Informationen über das gesamte Verlagsprogramm unter [www.editionargus.de](http://www.editionargus.de). Zum Forschungsschwerpunkt Interpretation der Hochschule der Künste Bern finden Sie Informationen unter [www.hkb.bfh.ch/interpretation](http://www.hkb.bfh.ch/interpretation) und [www.hkb-interpretation.ch](http://www.hkb-interpretation.ch). Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über [www.dnb.de](http://www.dnb.de) abrufbar. © Edition Argus, Schliengen 2016  
Printed in Germany ISBN 978-3-931264-86-4