

Zusammenfassung Projekt „WIR! – I-Ma-Tech – Typisierung der Materialien für den Musikinstrumentenbau“

Ausführlicher Projekttitle:	WIR! – I-Ma-Tech – Typisierung der Materialien für den Musikinstrumentenbau
Kurztitel/Akronym:	Materialtypisierung
Projektlaufzeit:	01.05.2020 bis 31.07.2022

Projektbeteiligte Einrichtungen	Ansprechpartner
Institut für Musikinstrumentenbau e.V. (IfM)	Herr Dipl.-Ing. (FH) Holger Schiema
TU-Dresden, Institut für Naturstofftechnik (IfN)	Herr Dipl. Ing. Tobias Dietrich
TU Bergakademie Freiberg, Institut für Metallformung (IMF)	Herr Dipl. Ing. Frank Hoffmann

Inhaltsverzeichnis

0	Abstract	2
1	Projektziele	3
2	Projekttablauf	4
2.1	Werkstoffauswahl	4
2.2	Herstellung der Messbereitschaft, Durchführung eines Ringversuchs	6
2.2.1	Klangdauermessung (Modalanalyse)	6
2.2.2	Ultraschallmessung	7
2.3	Untersuchungsergebnisse Ringversuch.....	8
2.4	Ermittlung relevanter Materialparameter	8
3	Projektergebnisse	11
4	Potentielle Nutzung der Projektergebnisse	11

0 Abstract

Das Ziel des Projektes bestand in der Schaffung einer Materialdatenbank als Voraussetzung für zukünftige Projekte zur Sicherstellung der Materialbasis für den Musikinstrumentenbau. Unter Leitung des IfM - Institut für Musikinstrumentenbau e.V. zusammen mit den Holz- und Metallexperten der TU Dresden und der TU Freiberg wurde das Projekt bearbeitet. Es erfolgte eine Standortbestimmung bzgl. Eigenschaften unterschiedlicher Materialien im Musikinstrumentenbau. Gegenstand waren etablierte, traditionelle Materialien und aktuell verfügbare Alternativmaterialien.

Durch Vermessung von über 700 Holzproben und über 100 Metallproben wurden die für den Klang und die Verarbeitbarkeit relevanten Kenngrößen wie E-Modul, Zug- und Biegefestigkeit, Härte, Quellung, Korngröße etc. gemessen. Die Vermessung erfolgte unter anderem durch einen umfangreichen Ringversuch bezüglich des Abgleichs der messtechnischen Verfahren unter den 3 Partnern.

Hauptziel war dabei die Herausarbeitung der optimalen Bereiche der Kenngrößen. Diese optimalen Bereiche werden durch die etablierten traditionellen Materialien definiert, welche seit Jahrhunderten im Musikinstrumentenbau erfolgreich eingesetzt werden - bald aber nur noch beschränkt oder gar nicht mehr verwendet werden dürfen. Bisherige Alternativmaterialien, welche als potentieller Ersatz dienen sollen, wurden ebenfalls vermessen.

Beim Vergleich der traditionellen Materialien von aktuell im Trend liegenden Alternativmaterialien im Bereich Holz (wie bspw. Papiermicarta, Paperstone, Accoya, Kebony, Blackwoodtek oder auch Swiss Ebony), wiesen nur wenige der bisher verfügbaren Alternativmaterialien brauchbare mechanische und klangliche Kennwerte auf.

Im Bereich Metalle wurde festgestellt, dass aktuell am Markt verfügbaren Alternativmetalle wie EcoBrass, Cuphin, Kupfer oder Bronze zwar klanglich als Ersatz dienen könnten, jedoch eignen sich diese nur bedingt, im Hinblick auf die Verarbeitbarkeit.

Zusammenfassend wurde im Projekt eine große Materialdatenbank kreiert, welche den Vergleich von traditionellen und aktuellen alternativen Materialien ermöglicht. Es wurden die Soll-Kennwertbereiche für Klang und Verarbeitbarkeit herausgearbeitet. Dabei wurde entdeckt, dass sich bisher nur wenige der Alternativmaterialien in diesem Soll-Bereich befinden.

1 Projektziele

Ausgangssituation und Zielstellung

Aktuelle Aktivitäten sowohl im Rahmen der Europäischen REACH-Verordnung als auch des Washingtoner Artenschutzabkommens CITES haben zur Folge, dass bestimmte im Musikinstrumentenbau bislang alternativlos eingesetzte Materialien nur noch mit deutlich erhöhtem Aufwand oder u. U. gar nicht mehr eingesetzt werden können. Auch wenn aktuelle Beschlüsse in Zusammenhang mit der REACH-Verordnung im November 2021 und der 19. Vertragsstaatenkonferenz des Washingtoner Artenschutzabkommens im November 2022 eine Unterbrechung der Restriktionen bewirken, gilt dies nur eine sehr beschränkte Zeit. Es sind auch die Entwicklungen in Zusammenhang mit der Europäischen Holzhandelsverordnung zu beachten. Hinzu kommt, dass bislang bevorzugt genutzte Qualitäten bestimmter Hölzer nicht mehr in ausreichendem Maße verfügbar sind.

Dies stellt den Musikinstrumentenbau vor eine große Herausforderung, worauf er reagieren muss. Da es sich hier um einen sehr klein- und mittelständisch geprägten Wirtschaftszweig handelt, beziehen die Hersteller ihr Ausgangsmaterial von verschiedensten Händlern.

Die geschilderte Sachlage macht es erforderlich, schnellstmöglich geeignete Maßnahmen zu ergreifen, um die Materialbasis des Musikinstrumentenbaus langfristig und nachhaltig zu sichern. Es geht darum, alternative, von Beschränkungen (auch langfristig) nicht betroffene Materialien zu finden sowie die traditionellen Materialien auszuwählen, die wirklich unverzichtbar sind.

Um nun entsprechende Materialien auszuwählen, zu entwickeln und bereitzustellen, ist die Kenntnis der konkreten, erforderlichen Materialeigenschaften zwingend erforderlich. Während es für erhältliche Metalle und Kunststoffe Datenblätter gibt, sind die Eigenschaften von Hölzern nur in ihrer Gesamtbandbreite und für viele Holzarten nicht vollständig bekannt. Da Instrumentenmacher im Allgemeinen keine Messungen an Materialien durchführen, ist nicht klar, welche konkreten Materialeigenschaften letztlich bei den Holzwerkstoffen zum Einsatz kommen. Dies trifft sowohl für die Holz- als auch die Metallwerkstoffe zu. Die zwingende Grundlage für einen Wandel ist eine fundierte Datenbasis der aktuell eingesetzten Materialien und der technisch beschreibbaren Gründe für ihren Einsatz. Diese Basis und damit die entscheidenden Voraussetzungen für weitere Projekte zur Materialproblematik im Rahmen des WIR!-Konzeptes I-Ma-Tech sollen mit dem beantragten Vorhaben geschaffen werden.

2 Projektablauf

- Zusammenstellung der im Musikinstrumentenbau verwendeten Holz- und Metallwerkstoffe und deren materialtechnische, technologische und historische Begründung aus der Sicht der Instrumentenhersteller. Dabei wurden die maßgeblichen Eigenschaften und ihre Gut-Bereiche zunächst beschreibend erfasst. Die maßgeblichen Eigenschaften ergeben sich aus technologischen, akustischen, optischen, haptischen und ggf. auch aus traditionellen Aspekten. Im Rahmen der Arbeiten wurden Proben verschiedener Qualitäten der einzelnen Werkstoffe für weitere Untersuchungen zusammengestellt.
- Auswahl geeigneter technischer Parameter, die die Werkstoffe entsprechend der Beschreibung durch die Hersteller messbar beschreiben und Bereitstellung entsprechender Mess- und Versuchsanordnungen zur Bestimmung der Parameter. Es wurde dabei auf Standardmessverfahren zurückgegriffen, ohne zunächst Rücksicht darauf zu nehmen, ob diese nur unter Laborbedingungen anwendbar oder in folgenden Arbeiten auch auf Produktionsbedingungen übertragbar sind. Es wurden die verfügbaren Verfahren bzw. Bauteile (wie z. B. verwendete Sensoren) modifiziert.
- Bestimmung und Systematisierung der Parameter an den ausgewählten Materialproben. Im Falle der Holzwerkstoffe wurde ein Ringversuch der beiden beteiligten Partner IfN und IfM durchgeführt. Dabei wurden nicht zwingend in beiden Einrichtungen die gleichen Messmethoden für die einzelnen Parameter angewandt.
- Auswahl von alternativen Werkstoffen mit vergleichbaren Materialparametern aus dem aktuell verfügbaren Werkstoffpool. Spezielle Werkstoffentwicklungen wurden hier ausdrücklich noch nicht vorgesehen.
- Bewertung der alternativen Werkstoffe durch den Musikinstrumentenbau. Neben Aussagen zu den alternativen Werkstoffen wurden insbesondere ergänzende Erkenntnisse über die traditionelle Werkstoffauswahl ermittelt. Da die alternativen Werkstoffe nicht in allen Parametern hinreichend identisch mit den klassischen Werkstoffen sind, wurden Wichtungen hinsichtlich der Bedeutung der einzelnen Parameter benutzt.
- Zusammenstellung der Materialien und aller Ergebnisse in der Materialdatenbank

2.1 Werkstoffauswahl

Es wurden Fragebögen erstellt, um die im Musikinstrumentenbau verwendeten Holz- und Metallwerkstoffe und deren Eigenschaften für spezielle, bauteilspezifische Anwendungen zu erfassen. Mithilfe der Fragebögen wurden mehr als 30 Unternehmen ausgewählt. Diese wurden in Form von telefonischen Befragungen, Webmeetings und teilweise in persönlichen Konsultationen hinsichtlich Metall- und Holzwerkstoffen befragt. Die Fragebögen für Hölzer und Metallwerkstoffe unterscheiden sich in einigen Details.

Die Fragebögen sind nach mechanischen, technologischen, optischen, haptischen sowie akustischen Eigenschaften aufgebaut. Zu nennen sind hier wichtige Eigenschaften wie die Festigkeit, die Steifigkeit, die Elastizität, die Dichte, die Härte, die Schlagzähigkeit, die Dämpfung und das E-Modul. Zu den Eigenschaften der Wahrnehmung zählen die Farbe und der Geruch. Technologisch wichtige Eigenschaften sind die Bearbeitbarkeit, die Fräsbarkeit, die Umformbarkeit, die Verklebbarkeit, die

Lötbarkeit und Lackierbarkeit. Zu den akustischen Eigenschaften zählen das Volumen, die Dynamik, die Klarheit, die Wärme, die Ansprache und die Klangdauer.

Die Fragebogenauswertung konnte abgeschlossen werden. Generell konnte festgestellt werden, dass die Auswahl der Materialien vorrangig nach Qualitäten erfolgt, sortiert und unterschiedlichen Verwendungen zugeführt wird. Teilweise erfolgte die Auswahl auch nach optischen, haptischen und akustischen Merkmalen. Im Ergebnis der Befragungen stellte sich heraus, dass bei Hölzern die Eigenschaften Festigkeit, Steifigkeit, Dichte, Härte, das Quell- und Schwindverhalten, die Dämpfung, die Farbgebung und die gute Bearbeitbarkeit und die Verklebbarkeit für die Holzauswahl bei Zupf- und Streichinstrumenten hohe Priorität haben.

Bei den Metallen des Musikinstrumentenbaus sind Eigenschaften wie die Dichte, die Härte, die Schlagzähigkeit, die Farbgebung, die mech. Bearbeitbarkeit, die Umformbarkeit, die Lötbarkeit und die Lackierbarkeit für die Auswahl und Qualität sehr wichtig.

Die Eigenschaften, welche den guten Klang von Zupf- und Streichinstrumenten stark beeinflussen, sind die Ansprache und das Volumen. Bei Metallen wird die Wärme als wichtige Eigenschaft beschrieben.

Im Ergebnis der Befragung ergab sich beim Holz ein Probenpool von über 700 Einzelproben aus über 20 verschiedenen Quellen. Hierunter zu finden sind alle für den Musikinstrumentenbau relevanten Tropenhölzer, typische für den Musikinstrumentenbau verwendete einheimische Hölzer, wie zum Beispiel Fichte und Ahorn, sowie auch alternative Materialien und modifizierte Hölzer. Im Bereich der Metalle wurden alle im Metall- und Holzblasinstrumentenbau verwendeten Buntmetalllegierungen (mehr als 20 Legierungen), weitere Legierungen des Musikinstrumentenbaus sowie alternative Metalle zusammengestellt.



Bild 1: Auswahl im Projekt untersuchter Hölzer und Bundmetalle

Alle verfügbaren Proben des Probenpools wurden zur weiteren Untersuchung den jeweiligen Partnern zur Verfügung gestellt und in vorher abgesprochene Dimensionen zu Probekörpern präpariert. Die genauen Bezeichnungen der Proben sind im neu entstandenen Probenpool (Materialdatenbank) erfasst.

2.2 Herstellung der Messbereitschaft, Durchführung eines Ringversuchs

Seitens des IfM wurden als Standardmerkmale beim Werkstoff Holz nachfolgend aufgeführte Größen nach ausreichender Konditionierung (21°C/50%rLF) erfasst. Die Konditionierung erfolgt dabei über das entsprechend eingestellte Raumklima im Instrumenten- und Probenlager.

- E-Modul längs und quer zur Faserrichtung
- Mittels Biegeversuch nach DIN 52186
- Mittels Stabschwingversuch in Anlehnung an DIN EN ISO 6721-3:1996-12
- Auf der Basis Schallgeschwindigkeitsmessung im Ultraschallbereich
- Dämpfung (in Form des Verlustfaktors) in und quer zur Faserrichtung im Stabschwingversuch in Anlehnung an DIN EN ISO 6721-3:1996-12 bzw. mittels Modalanalyse
- Brinell-Härte
- Biegefestigkeit nach DIN 52186
- Quell- und Schwindmaß, in Anlehnung an die Norm bei Weiterverwendung der Proben.
- Schlagzähigkeit mit Dynstat-Gerät in Anlehnung an DIN 53435 und DIN 51230
- Sorptionsverhalten

Standardverfahren für die Prüfung von Metallen werden im IfM bislang kaum angewandt. Biegeversuch und Stabschwingversuch eignen sich aber auch für Metalle, diese Prüfung wurde für Streifenproben angewandt, um auch schwingungstechnische Parameter ermitteln zu können.

Die oben genannten Methoden sind im IfM erprobt und werden als hinreichend sicher angesehen. Um diese Annahme zu überprüfen, erfolgte für die im 1. Arbeitspaket festgelegten Messungen an Hölzern bzw. Holzwerkstoffen ein Ringversuch zwischen IfM und IfN. Wenn möglich wurden auch ausgewählte Merkmale der Metalle des Partners IMF in den Ringversuch einbezogen.

Mit der am IfM vorhandenen Prüftechnik können die mech. Materialkennwerte, wie Biegefestigkeit und E-Modul im (3-Punkt-Biegeversuch mit mechanischem Wegaufnehmer), Dichte, Härte usw. untersucht werden. Weitere mechanische Kennwerte wurden ebenfalls ermittelt.

Um die akustisch relevanten Kennwerte ermitteln zu können, wurden 2 weitere Messapparaturen entworfen:

2.2.1 Klangdauermessung (Modalanalyse)

Mit diesem Messplatz kann die Klangdauer einer auf den Kontenpunkten der 1. Schwingungsmode gelagerten Holzprobe mithilfe eines automatisch betätigten Impulshammers sowie mit einem Mikrophon ermittelt werden. Weiterhin wird die Frequenz und die Bandbreite der 1. Schwingungsmode erfasst, somit kann auch die Materialdämpfung und das dynamische E-Modul berechnet werden.



Bild 2: Modalanalyse zur Ermittlung der Dämpfung und Klangdauer

2.2.2 Ultraschallmessung

Um die Schallgeschwindigkeit in Hölzern zu ermitteln, wurden in Zusammenarbeit mit der Firma „SONOTEC GmbH“ als Drittdienstleister neue 500 kHz Ultraschallprüfköpfe entwickelt. Diese zeigen eine deutliche Verbesserung der Signalempfindlichkeit gegenüber den bisher verwendeten 1 MHz Prüfköpfen. Weiterhin kommt für Holz ein klassisches Koppelmittel nicht in Frage, da dieses das Holz kontaminieren würde. Als Ersatz wird eine Koppelfolie verwendet. Um eine Reproduzierbarkeit zu erreichen, muss bei Verwendung der Koppelfolie ein definierter Anpressdruck während der Messung gewährleistet werden. Dazu wurde eine Messvorrichtung entworfen und gebaut, welche einen definierten Anpressweg mit Kraftmessung ermöglicht.



Bild 3: Ultraschallprüfung an Holzproben

2.3 Untersuchungsergebnisse Ringversuch

Ausgewählte Kennwerte der Holzproben wurden in einem Ringversuch sowohl am IfM als auch am IfN (TU Dresden) erfasst. So war ein Vergleich der verschiedenen Messmethoden möglich. Das E-Modul wurde am IfN im Gegensatz zum IfM mittels einem 4-Punktbiegeversuch (mit Videoextensiometer) ermittelt. Die erfassten Kenngrößen sind mit beiden Verfahren sehr gut vergleichbar und weisen eine hohe Korrelation auf. Die Modalanalyse unterscheidet sich in der verwendeten Hardware (Hammer- und Mikrofontyp), in der Software und im Messaufbau. Die hier ermittelten Frequenzen zeigen ebenfalls eine sehr gute Übereinstimmung und weisen eine hohe Korrelation auf. Insgesamt kann für den Ringversuch festgestellt werden, dass eine sehr gute Übereinstimmung der gewonnenen Ergebnisse hergestellt werden konnte. Eine Vergleichbarkeit der ermittelten Ergebnisse ist somit gewährleistet. Nachfolgende Diagramme zeigen die Korrelation zwischen den Ergebnissen der Projektpartner beispielhaft.

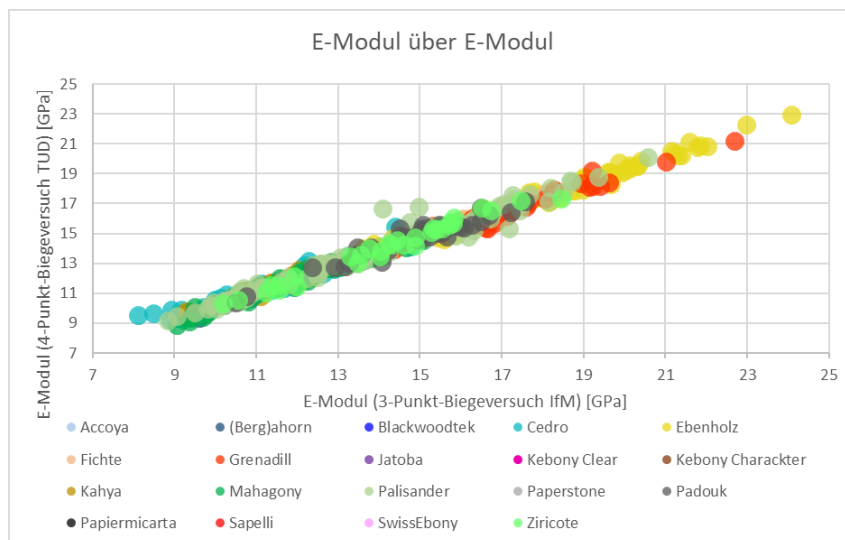


Bild 4: Korrelation der E-Modul Bestimmung IfM und TU-Dresden

2.4 Ermittlung relevanter Materialparameter

Es wurden am IfM von allen Holz- sowie Metallproben die für den Musikinstrumentenbau relevanten Materialkennwerte aufgenommen. Die vom IfM und der anderen Projektpartner aufgenommenen Materialparameter wurden in einem gemeinsamen Datenpool zusammengefasst, was die spätere Auswertung und Nutzung der Daten stark vereinfacht.

Hölzer:

Unter den Hölzern befanden sich Hölzer aus den Kategorien (einheimisch-europäisch, tropisch, amerikanisch sowie alternative Materialien bzw. alternative Hölzer). Insgesamt standen mehr als 34 Holzarten zur Verfügung. Aus den gelieferten Kanteln wurden zunächst Probekörper hergestellt. Es wurden insgesamt über 700 Proben untersucht.

Metalle:

Im Bereich der Metalle kamen vorrangig Bundmetalllegierungen zur Auswahl. Einige Metalle bzw. Legierungen wurden als nutzbare Alternativen für bisher verwendete Buntmetalle mit aufgenommen und untersucht. Die Metalle wurden in Form von dünnen Blechen, Rohren bzw. als Stangenmaterial geliefert. Aus den Probematerialien wurden Proben für Zugversuche, Proben zur Ermittlung der metallografischen Kennwerte (wie Korngrößen) und Proben für die Härtemessung präpariert.

Es wurden neben den quasistatischen Kennwerten für Metalle auch das dynamischen E-Modul an Blechstreifen auf dem Dämpfungsmessplatz ermittelt.

Auswahl verfügbarer Alternativmaterialien

Auf Basis der Befragung der Firmen und weiterer Recherchen wurden alle bisher für den Musikinstrumentenbau verfügbaren Alternativmaterialien benannt und in einer Liste zusammengestellt. Diese Materialien wurden zum Großteil von den befragten Firmen angefordert und geliefert. Im Anschluss der Beschaffung der Materialien konnten die relevanten Materialkennwerte ermittelt werden. Diese wurden ebenfalls in die Materialdatenbank aufgenommen und den bisherigen Werten gegenübergestellt.

Tabelle 1: Übersicht alternativer Hölzer

Hölzer (alternativ)			
Papiermicarta	Paperstone	Accoya	Buchenschichtholz
Kebony Charakter	Kebony Clear	Blackwoodtek	Swiss Ebony

Tabelle 2: Übersicht alternativer Metallwerkstoffe

Metalllegierungen (alternativ)			
EcoBrass CW 724R CuZn21Si3P	Cuphin 430PbF CuZn21Si3P	Kupfer Cu	Bronze CuSn8

Bewertung und Akzeptanz verfügbarer Alternativmaterialien

Im Bereich der alternativen Hölzer scheiden Papiermicarta und Paperstone aufgrund ihrer Eigenschaften für klangliche Anwendungen aus. Ebenso liegt Swiss Ebony außerhalb des Bereichs von E-Modul, Dämpfung und Dichte. Blackwoodtek und Kebony Charakter liegen im Bereich von Ebenholz. Kebony Clear liegt im Bereich von Ahorn. Accoya liegt, bei guter Auswahl im Bereich von Fichte.

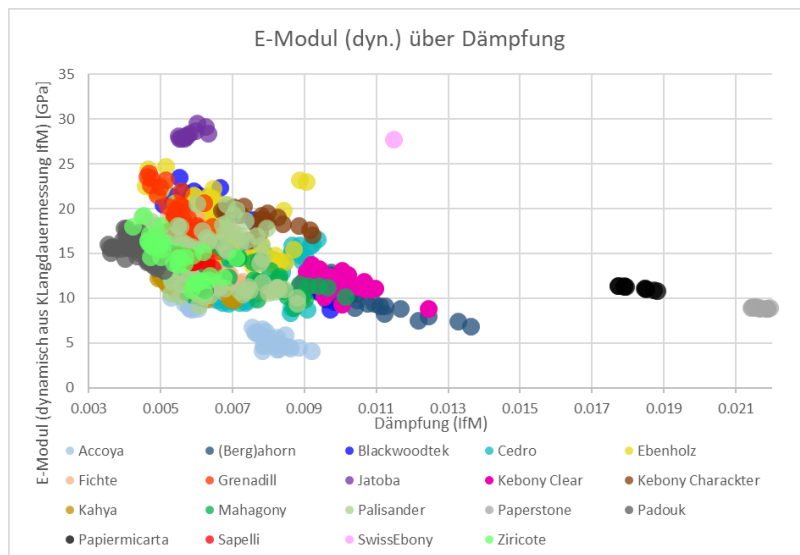


Bild 5: Klangliche Einordnung der alternativen Hölzer

Die ausgewählten Alternativmaterialien im Bereich Holz und Metall wurden von Instrumentenbaufirmen in enger Absprache hinsichtlich ihrer möglichen Verwendbarkeit diskutiert. Erste positive Rückmeldung zur Akzeptanz einiger Materialien bei Musikern liegen vor. Als Alternativen sind derzeit zu nennen: Papiermicarta (für Kinnhalter und Wirbel), Blackwoodtek für Gitarrengriffbretter. Kebony ist bezüglich seiner Eigenschaften vielversprechend, jedoch wird es momentan noch nicht verwendet. Accoya streut aufgrund der ungleichmäßigen Jahrringstruktur zu sehr, ist aber eventuell als Ersatz für Fichte, bei geeigneter Auswahl der Kennwerte vielversprechend. Swiss Ebony streut in seinen Kennwerten zu stark und neigt zur Rissbildung.

Bei Metallwerkstoffen sind Bearbeitungsversuche durchgeführt worden. Es sind jedoch für Cuphin und Ecobrass noch Optimierungen der Bearbeitungsverfahren- und Technologien notwendig. Auffällig war hier ebenfalls die starke Korrosionsneigung im Bereich von Ventilbauteilen von Blasinstrumenten.

Eine wirkliche Alternative zu bisherigen blei- und nickelhaltigen Buntmetalllegierungen stellt Kupfer sowie für Dreh- und Frästeile Bronze (Bronze CuSn8) dar. Hier konnten neben einer möglichen Verarbeitbarkeit auch positive Resonanzen in der Akzeptanz bei Musikern in einem angrenzenden Forschungsprojekt ermittelt werden.

3 Projektergebnisse

Wesentliche Ergebnisse sowie ggf. die Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen

- eine Zusammenstellung der im Musikinstrumentenbau verwendeten Hölzer und Metalllegierungen in Form eines gemeinsamen Datenpools (Materialdatenbank)
- Ermittlung der relevanten mechanischen, haptischen, optischen und akustischen Kennwerte der Materialien
- Erstellung von Prüfverfahren für die Klangdauermessung und Ultraschallmessung von Materialien
- Festlegung der Gut-Bereiche für den Musikinstrumentenbau
- Durchführung eines Ringversuchs zwischen den Partnern
- Suche nach derzeitig verfügbaren alternativen Materialien und Validierung für den Musikinstrumentenbau
- Bewertung und Katalogisierung der Werkstoffkennwerte
- Bewertung der Alternativmaterialien durch den Musikinstrumentenbau

4 Potentielle Nutzung der Projektergebnisse

Der direkte Nutzen der Ergebnisse des Projektes liegt in der langfristigen Sicherung der Materialbasis für Hölzer und Metalllegierungen im Musikinstrumentenbau. Durch den Aufbau einer Materialdatenbank für die Werkstoffe des Musikinstrumentenbaus, welche allen Bündnismitgliedern zur Verfügung steht, ist es auch in Zukunft möglich, geeignete Alternativmaterialien für z.B. nicht mehr zur Verfügung stehende Hölzer bzw. auch im Bereich der Metalllegierungen zu finden und dafür schnell die wichtigsten Parameter der unterschiedlichen alternativen Werkstoffe zur Verfügung zu haben. Hiermit sind auch Neuentwicklungen von Metalllegierungen und Ersatzstoffen der Hölzer gezielt möglich. Die Datenbasis soll auch in der Zukunft weitergeführt und ständig aktualisiert werden.