

Vermessene Körper, digitale Musikinstrumente

Drei Spurensuchen mit Gestischen Controllern

Andi Otto

A musical instrument should be understood in its fundamental meaning as an instrument which is used to make music. (Kvifte 1989: 91)

Es klingt pragmatisch und verdächtig tautologisch, was Tellef Kvifte zu Musikinstrumenten bemerkt: Sie sind, was wir benutzen, um Musik zu machen. Man vermutet zunächst, dass man sich hier mit der Erklärung, was instrumental bedeuten kann, die viel größere Frage einfängt, was denn Musik sei. Der Sinn zeigt sich erst, wenn man die Fokussierung auf die *playing technique* beachtet, die Kvifte als Bedingung seiner Überlegungen zu einem aktuellen Begriff des Musikinstruments 1989 formulierte (Kvifte 2007). Nachdem Klassifikationsansätze von Musikinstrumenten im 20. Jahrhundert fast ausnahmslos bei der Klangerzeugung ansetzten, rückte bei Kvifte der musizierende Körper ins Zentrum. Dies geschah im Kontext von elektronischen und digitalen Klangerzeugern der 1980er, als der MIDI-Code¹ sich etabliert hatte und unendliche neue instrumentale Kombinations- und Konfigurationsoptionen am Horizont erschienen, wie man zukünftig als Musiker mit Klang umgehen würde. Die Bewegung eines Körpers in Relation zum so gestalteten Klang erkannte Kvifte als kleinsten gemeinsamen Nenner des Instrumentalen, ganz gleich in welcher Medienepoche.

1 | 1983 wurde der MIDI-Standard eingeführt, um digitale Geräte im Tonstudio und auf der Bühne herstellerübergreifend miteinander kommunizieren zu lassen. MIDI steht für »Musical Instrument Digital Interface«, im Protokoll werden u.a. Informationen wie Notennummer (Tonhöhe), Velocity (Anschlagsstärke) und kontinuierliche Parametersteuerung übertragen, der Code folgt damit im wesentlichen den Paradigmen der Klaviatur. Der MIDI-Standard ist bis heute weit verbreitet, um Synthesizer, Sampler und Musiksoftware anzusteuern.

In elektronischer Musik bieten sich im Gegensatz zur traditionellen, mechanischen Instrumentalität Möglichkeiten etwa der Automation, Reproduktion, Verräumlichung und Programmsteuerung von Sound, die sich heute tief in die unterschiedlichsten Bereiche der Musikpraxis integriert haben. Die im vor-elektronischen Zeitalter sich stets im blinden Fleck des Instrumentalkonzepts befindliche Aktivität eines Musikers rückt damit in den Fokus, indem sie entweder konterkariert oder bewusst inszeniert wird. Dass eine Trommel oder eine Klarinette nur klingt, wenn jemand sie spielt, ist selbstverständlich. Dass aber – in der Tradition von Selbstspielklavieren und Spieluhren – elektronische Musik auch ohne eine körperliche Bewegung erklingen kann, stellte im 20. Jahrhundert verschiedenste Herausforderungen an musikalische Bühnensituationen. Zwischen der reinen Medien-Inszenierung im Acousmonium oder Lautsprecherkonzert und einer Aufführungspraxis (mindestens) zweiter Ordnung bei DJs sind die Kategorien dessen, was als »live« angekündigt wird, heute weit aufgefächert. Vor diesem Hintergrund gewinnt Kvinfos *strange loop* zwischen Musik und Instrument an Schärfe: Sobald eine Körperbewegung Musik hervorbringt, erkennen wir ein Musikinstrument als etwas, das *zwischen Bewegung und Klang* präsent sein muss. Es wird medial. Die Unterscheidung von elektronischen Musikinstrumenten und simplen Play-Knöpfen liegt nicht in technischen Schaltungen, Oberflächen oder im Material begründet, sondern in ihrem Gebrauch.

Zusammenfassend lässt sich sagen: Körperbewegung und Klang gehen in elektronischen, insbesondere in digitalen Instrumenten eine symbolische Verbindung ein, die musikalisch funktionieren muss, damit wir von Instrumenten sprechen, wenn Computer auf der Bühne stehen. Die ästhetische Funktion einer Bewegung muss immer erst im arbiträren Gefüge einer Software definiert werden, damit sie zu Klang werden kann. Diese Medialität birgt ein neues Potenzial für aktuelle Musikinstrumente, wobei sie eigene Ästhetiken und Historizität mitbringt, denen dieser Beitrag auf die Spuren kommen möchte.

GESTISCHE CONTROLLER

Der Eingabeteil eines digitalen Musikinstruments, das Interface, das für sich genommen keinen Klang erzeugt, wird Gestischer Controller genannt, wenn damit die Daten potenziell freier Körperbewegungen erfasst werden. Konkreter bestimmt wird ein Gestischer Controller, indem man seine Nähe zu existenten Instrumenten untersucht (Miranda/Wanderley 2005) oder die physischen Eigenschaften in der Interaktion (Tanaka 2000). Generell gilt: Damit eine Ges-

te zu Code werden kann, der im zweiten Schritt des Mappings² zu Klang wird, müssen die Körperbewegungen durch Sensoren zunächst vermessen und digitalisiert werden. Dabei werden Sensoren eingesetzt, welche die Bewegung und Lage eines musizierenden Körpers vermessen, etwa Gyroskope, Accelerometer, Distanz- und Drucksensoren oder Kameras. Ein Beispiel für einen Gestischen Controller habe ich auf dem Symposium der *gtf* mit meinem mit Sensoren erweiterten Cellobogens *Fello* gezeigt. Die Bewegungen des Bogens in der Luft werden in Geschwindigkeit, Fingerdruck und Lage erfasst, digitalisiert, drahtlos an den Rechner gesendet und dort zu musikalischen Steuerdaten prozessiert, die das live verstärkte Cello modulieren, indem sie etwa seine Töne dynamisch wiederholen und verändern. Das eigentliche Spiel beginnt oft erst, wenn der Bogen die Saiten verlässt und in der Luft mit dem komplexen Echo dessen interagiert, was das Mikrofon im Cello an Klang erfasst. Anstatt hier jedoch das Konzept meines eigenen Instruments auszubreiten, möchte ich mich auf eine Reflexion der Eigenschaften von Gestischen Controllern im Kontext des Themas des Symposiums konzentrieren. Zwischen Klang und Bewegung bilden sich Spuren aus, Klangspuren in Bewegung oder andersherum. Diesen mittleren, vermittelnden Begriff der Spur möchte ich hier hinterfragen, indem ich ihn medientheoretisch und historisch auffasse und ihn auf das Feld Gestischer Controller und digitaler Musikinstrumente anwende. *Traces* spannen sich, geschrieben und gelesen, zwischen den gestalterischen Polen *Sound* und *Moves* eines digitalen Musikinstruments. Im Begriff der Spur steckt ein besonderer Blick auf das Verhältnis von Körper und Klang, ein medienpezifischer Blick auf Speicherung und Aufzeichnung, um die flüchtigen Aktionen der Musizierenden in der Zeit oder der Tanzenden im Raum festzuhalten und ihnen nachzuspüren.

Es erscheinen im Konzept Gestischer Controller drei Bedeutungsfelder der Spur zwischen Bewegung und Klang:

1. *Medienästhetische Spuren*. Zunächst ist da die Vermessung eines musizierenden Körpers, bei der Sensoren Daten bereitstellen, die in den Algorithmen des Mappings musikalisch interpretiert werden. Die Bewegung des Musikers wird in Code repräsentiert, der sich dann im Klang abbildet. Die Aufzeichnung hinterlässt Spuren, deren medientheoretische Differenz zu den erzeugten Mapping-Daten hier interessant ist.
2. *Technische Spuren*. Sowohl solche Steuerinformationen als auch Audiodaten laufen durch die Puffer und Speicher des Rechners, werden gleichzeitig geschrieben, ausgelesen, übertragen und prozessiert. Das eröffnet zeitba-

2 | Mapping bezeichnet die Verknüpfung von Input- und Outputdaten in einer Software. Bei digitalen Musikinstrumenten ist dies die Verbindung von Interface und Klangsynthese.

sierte Gestaltungsoptionen wie Repetition, Reversibilität und Rekonfiguration, die in traditionell instrumentalen Umgebungen ohne elektronische Medien unmöglich wären.

3. *Historische Spuren.* Die Pionierarbeiten rund um das *SensorLab* des *STEIM* (*Studio for Electro-Instrumental Music*) in den 1980er Jahren lassen historische Spuren Gestischer Controller erkennen. Eine Archäologie dieser Spuren erhellt die ästhetischen Strategien und Techniken aktueller digitaler Instrumente.

MEDIENÄSTHETISCHE SPUREN

Das Symbolische, das in die Kette musikalischer Aktionen zwischen Hand und Ohr einzieht, ist das Besondere am Gestischen Controller im Vergleich zu traditionellen Musikinstrumenten. Indem im Digitalen die Erfassung und Rasterung einer Geste und die Klangerzeugung durch beliebig zu konfigurierende Mappings verbunden werden, ist die Frage, was klingt, wenn etwa eine Hand sich hebt, ein vollständiger Aspekt künstlerischer Entscheidung geworden. Die gestaltete Verknüpfung von Geste und Klang ist arbiträr, so das Schlagwort der Semiotik zum Symbolischen im Digitalen. Zeichen und Bezeichnetes sind ausschließlich über kulturelle, soziale oder ästhetische Konventionen verknüpft (Withalm 2010). Materielle Bedingungen des Instrumentalen lösen sich tendenziell auf bzw. rücken in den Bereich von Metaphorik und Inszenierung, können dynamisch umgedeutet werden, gelten nur für den Moment oder zerschmelzen schon wieder, während man sie zum ersten Mal wahrnimmt. Die Handbewegungen eines Musikers werden zur Zahlenfolge, die auf Interpretation angewiesen ist, um sinnlich zu werden. Man ahnt, dass das musikalische Funktionieren eines Instruments, also Kviftes Bedingung zum Erkennen eines Instruments, im Digitalen nicht trivial ist.

Interessant für den Begriff der medialen Spur, den die aufgezeichnete Bewegung darstellt, ist ihr sinnhafter Überschuss jenseits der Bedeutung eines konkreten Zeichensystems. Sibylle Krämer erläutert die Spuren, die im Medienegebrauch entstehen, über das Verhältnis von Rede und Stimme. Während die Bedeutung einer Rede erst durch die Stimme aktuell wird, indem sie ausgesprochen wird, erzeugt die Stimme selbst weitere Bedeutungen und Nuancen, die sich zusätzlich um die sprachlichen Zeichen der Rede herum ereignen. Dieses Surplus an Bedeutung neben dem bezeichneten Inhalt ist durch Spuren im Medium verursacht.

Auf dieses Phänomen der Spur im Unterschied zum Zeichen kommt es hier an. Auch Spuren werden interpretiert, doch sie gelten als ein [...] vorsemantisches Phänomen. Spuren sagen uns nichts, sondern sie zeigen uns etwas. Vor allem aber: das, was sie

zeigen muss beiläufig, also unbeabsichtigt entstanden sein – anderenfalls handelt es sich nicht um eine Spur, sondern um ein bewusst als Spur inszeniertes Zeichen. (Krämer 1998: 79)

Krämer fokussiert mit diesem Spurbegriff ganz im Sinne von McLuhans Slogan *The medium is the message* nicht die übertragenen Zeichen eines Mediums, sondern weist auf diejenigen Eigenarten des Kanals hin, die sich zum Inhalt *vorsemantisch* verhalten. Festzuhalten ist hier, dass die Spuren des Mediums von den in ihm transportierten Zeichensystemen zu unterscheiden sind und dass sie sich tendenziell im blinden Fleck des Mediengebrauchs abspielen.

Was leistet dieses Modell im Hinblick auf digitale Musikinstrumente? Man kann über Krämers Illustration der Differenz von Rede und Stimme eine Unterscheidung von sprachlichen und nichtsprachlichen Aspekten des instrumentalen Systems vornehmen.

Musik ist nichtsprachlich, sie ist reich an Spuren, das zeigt uns der Gesang, den die Stimme gestaltet, ohne einer Semantik zu folgen. Im Spiel mit Gestischen Controllern sind die Spuren der Sensor-Interfaces somit alles, was sich in einer Spielgeste neben ihren formalisierbaren Aspekten ereignet, denn die Formalisierung, das Mapping, ist sprachlich. Hier liegt ein wesentlicher Unterschied zwischen traditionellen Instrumenten und digitalen: Die symbolische Architektur rund um einen Gestischen Controller ist (programmier-)sprachlich strukturiert. Wenn es beim Musizieren beispielsweise nur darauf ankäme, welche Taste am Klavier zu welchem Zeitpunkt gedrückt wird, verhielte sich die gesamte Peripherie der Gestik eines Pianisten ornamental zum Zweck und wäre in der Programmiersprache eines digitalen Systems, welches das Klavierspielen sensorisch erfasst, überflüssig. Dennoch braucht jeder Musiker mehr Bewegungen als jene, welche die Spielgesten effektiv an das Instrument übermitteln. Die kreisenden Arme von Rockgitarristen, die verzerrten Posen der Jazz-Saxophonisten oder das Stöhnen von Keith Jarrett sind, so könnte der Programmierer sagen, überschüssige Inszenierungen des Spiels. Um die klangrelevante Spielgeste zu reproduzieren, kann sie aus dem Datenstrom gekürzt werden. Diese Bewegungen sind jedoch für den Musiker nicht zu subtrahieren, da in ihnen das Körperwissen steckt, in dem sich die spezifische Praxis, Stil und Genre der Livemusik ausbilden. Welche Rolle spielt dieser Überschuss im Setting digitaler Instrumente?

Eine reduktionistische Perspektive, die das Instrumentalspiel alleine durch die Sprache der Mapping-Algorithmen betrachtet, lässt diese Spuren außer Acht. Das Besondere an der sensortechnischen Erfassung einer Spielgeste ist, dass sie alle diese Spuren unabhängig von der Bedeutung von Bewegungen am Instrument aufnimmt. So wie ein Mikrofon (das auch ein Sensor ist) Spuren der Schallereignisse mitschneidet und nicht Sprache, da diese erst im Anhören und Verstehen der phonographischen Mitschnitts entsteht (Großmann 2013),

registriert etwa der Accelerometer am Cellobogen alle Bewegungen zunächst unabhängig von ihrer Funktion und musikalischer Bedeutung. Erst durch das Mapping entsteht programmiersprachliche Bedeutung im musikinstrumentalen System.

Diese Perspektive auf die technischen Repräsentationen von Spielgesten als Spuren begreift die Komplexität der Körpermotorik als Realität instrumentalen Handelns, die in der Digitalisierung zwar gerastert, aber nicht zwangsläufig reduziert wird. Die Kanalisierung des Datenstroms in Algorithmen entlang Entscheidungen zur Inszenierung des symbolischen Instruments ist mit Krämer die Rede, deren Zeichen im Code zu finden sind. Der vermessene Körper ist die Stimme dieser Rede.

TECHNISCHE SPUREN

Mit den beschriebenen medienreflexiven Spuren gehen auch technische Spuren einher. Als Computer in Musikinstrumente integriert wurden, eröffneten sich neuen Komplexitäten in den Bedingungen des Musizierens. In analogen elektronischen Instrumenten waren diese wohl schon strukturell angelegt, konnten sich aber erst im Digitalen massiv manifestieren: Ausgestattet mit dem Potenzial der Simulation können sämtliche Epochen von Musiktechnologie in Audiosoftware zur simultanen Anwendung kommen (Collins 1993) und sie sind nahezu beliebig kombinier- und kaskadierbar.

Die Tatsache, dass die Steuerdaten eines Gestischen Controllers genau wie die Audiodaten der Klangerzeugung durch Speicher und Puffer laufen, lässt sie Spuren schreiben, auf die zurückgegriffen werden kann. Die musikalische Performance bewegt sich, ausgestattet mit zahlreichen Puffern, mit einem metaphorischen Ariadnefaden (Serres 2015) durch das Labyrinth musikalischer Zeit. Eine *Undo*-Funktion beim Musizieren, sogar live auf der Bühne, kann es ohne digitalen Speicher nicht geben. Und Klänge können wiederholt werden, sie bilden Loops und Echos und damit neue Rhythmen, Pulse und Texturen, die sich aus dem Verklungenen speisen. Die Entwicklung einer Komposition oder Improvisation mit Zeitachsen-Manipulationen in digitalen Medien ist somit eine Ent-Wicklung des Fadens als technischer Spur. Reversibilität lädt nicht nur zum Probehandeln ein, lässt Experimente entstehen, die sich scheinbar nur als Test in die Gegenwart ausstrecken und jederzeit zurückgenommen werden können. Sie eröffnet Strukturen der Postproduktion, die in den Moment der Aufführung verlegt werden können. Damit werden die gewohnten Kategorien des Instrumentalen als einer unmittelbaren Klanggestaltung ausgehebelt. Die spezifische Medialität des Instruments wird hier besonders deutlich. Als Kontrast zu einem Phantasma des Un-Mittelbaren, also einem als direkt und medienfrei imaginierten musizierenden Umgang mit

Klang, wie er sich häufig hinter dem Begriff der Expressivität verbirgt, wird die Mittelbarkeit der Klanggestaltung mit Gestischen Controllern gerade durch die zeitliche Collage von Speicherspuren evident.

HISTORISCHE SPUREN

Avantgarde und *Pionier* sind in der Kunst die Begriffe, die das Erste, das Vorauslaufen illustrieren. Bei aller Kritik an der kaum reflektierten und fast alternativlosen Verwendung dieser Metaphern militärischer Strategien im Bereich der Ästhetik (*cutting edge* oder *Speerspitze* sind nicht weniger martialisch) steckt darin auch das Bild Spur: Erst wenn die Vorhut den neuen Weg markiert, gespurt hat, können andere folgen und das Explorierte weiter ausbauen. Was Gestische Controller und digitale Musikinstrumente betrifft, lässt sich eine solche Pionierrolle in den Arbeiten im *Studio for Elektro-Instrumental Music* (STEIM) in Amsterdam in den 1980er Jahren erkennen. Als der MIDI-Standard 1983 als Code zur Kommunikation digitaler Interfaces und Klangerzeuger etabliert wurde, gehörten die Künstler und Techniker des STEIM zu den Ersten, die diesen Code aus Körperbewegungen mittels Sensoren und entsprechenden Wandlermodulen jenseits der Standard-Interfaces generierten.

Aber es ist unmöglich, auf ein Erstes zu zeigen, ohne dahinter eine Historizität zu sehen. Die *SensorLab*-Arbeiten am STEIM, die gleich detaillierter erläutert werden, fielen nicht vom Himmel, sie bauten auf Entwicklungen und Ideen des 20. Jahrhunderts auf, in denen der musizierende Körper als Spieler neuer Instrumente nicht mehr als den Rang eines Operators besaß, der die Konfiguration bediente. Es galt schon in anderen elektronischen Instrumenten des vergangenen Jahrhunderts, dass das spezifische Wissen des Körpers sich im Klang abbilden kann, wenn das instrumentale System entsprechend gestaltet wird. Mit dem Theremin, das bald seinen 100. Geburtstag feiern wird, zog ein auditiver Distanzsensor als Urahn technisch-gestischer Klanggestaltung in die Welt der Musikinstrumente ein. Vor allem wegen seiner spektakulären Spielweise hat das Theremin weite Wellen geschlagen, die bis in die Gegenwart reichen. Die Gestik der Hände im elektrischen Feld zweier Antennen bildet sich berührungslos im Klang ab, eine Hand steuert die Lautstärke, eine andere die Höhe des ansonsten statischen Tons. Die Virtuosität, die das Spiel des Instruments erfordert, ist legendär und ließ den technischen Apparat, der mit seinen Mess-Schaltkreisen und Schwebungssummern im Grunde ein modifiziertes Radio war, umstandslos als Instrument erscheinen, weil es erlernt und gemeistert werden musste. Das Neue war hier der Tanz des Musikers, der einerseits auf die Unsichtbarkeit des elektronischen Mediums aufmerksam machte: die Klänge aus der Luft rekurrerten auf die spiritistischen Technikmetaphern und Äthertheorien des 19. Jahrhunderts, so wurde

das Instrument auch *Ätherophon* genannt. Andererseits wies die Spielweise in die Zukunft und eröffnete Utopien für neue Instrumente. Diese betrafen nicht nur, wie Busoni es formulierte, neue Klangfarben, die den Komponisten von den fesselnden Beschränkungen des Orchesters befreien sollte (Hagen 2008), sondern versprachen als neue Körpertechniken das Finden noch unbekannter Klangästhetiken und somit auch neuer Musik. Der Dirigent, Komponist und Techniqueuphoriker Leopold Stokowski beschrieb diese Idee 1943:

Today we are at the verge of one of the greatest steps in the evolution of musical instruments that perhaps can ever take place – that is, the invention and development of musical instruments in which the tone is produced electrically, but is played and controlled through a musician’s feeling, technical skill, and intuitive understanding. [...] Some types of melodies, where tones glide to another with a curved motion, will possibly be played on a wire somewhat like a cello string or by electrical instruments similar to those invented by the Russian Theremin or the French Martenot. (Stokowski 1943: 169-70)

Leon Theremin erweiterte sein Instrument zum *Terpsiton*, das als *Musical Dance Stage* 1932 in der *New Yorker Carnegie Hall* präsentiert wurde (Ploebst 2011). Das Konzept übernahm John Cage in *Variations V*, die er 1965 für die *Merce Cunningham Dance Company* komponierte: David Tudor baute die bewegungsreaktive Klangarchitektur aus Theremin-artigen Antennen und Fotozellen.

Während in diesen Beispielen Körperbewegung und Klangmodulation noch analog verlaufen, also ebenso verknüpft sind wie etwa die Lage des Posaunenzugs mit der Tonhöhe, leistet die Digitalisierung der Bewegungen mit Gestischen Controllern den Schritt ins Symbolische. Ein Datenstrom steht zur Interpretation bereit, befreit von Mechanik und Material realer Klangerzeuger. *The Hands* von Michel Waisvisz gilt als erster Gestischer Controller, der MIDI-Code ausgeben konnte. Waisvisz wählte den Yamaha DX7-Synthesizer als Klanggenerator und entlockte der FM-Synthese Klangfarbenvariationen, die mit dem Standardinterface, dem Keyboard, nicht spielbar waren (Otto 2017). Seine physische Präsenz in der Improvisation mit elektronischem Klang in seinen offen angelegten Kompositionen wie *Touch Monkeys* (1986) oder *The Archaic Symphony* (1988) ließen zahlreiche internationale Künstler auf diese Forschungen am STEIM aufmerksam werden und selber mit Sensoren arbeiten (2017). Jon Rose erweiterte seinen Geigenbogen, Michael Barker die Klappen einer Bassblockflöte, Joel Ryan und Michel Waisvisz entwarfen *The Web* als ein taktiles Spinnennetz, in dem eine Handgeste immer zahlreiche Parameter auf einmal variiert, um die Komplexität der instrumentalen Klangfarbengestaltung ins Technische zu übertragen. Als schließlich zu Beginn der 1990er das internationale Artist-In-Residence-Programm am STEIM anlief, war bereits so viel Erfahrung mit individuellen Sensor-Interfaces gesammelt

worden, dass das *STEIM SensorLab* als Baustein zur Analog-Digital Wandlung von Sensordaten in MIDI-Code in Serie gefertigt wurde. Über 200 Projekte hat das STEIM in den 1990er Jahren mit dem *SensorLab* unterstützt.

Sich diese frühen Arbeiten Gestischer Controller genauer anzusehen, verspricht Einblicke in die historischen Grundlagen der heutigen Arduino-Kultur.³ Diese USB-Boards zur Wandlung von Sensoren sind kostengünstig und relativ einfach zu konfigurieren, so dass es heute zum Standardrepertoire von Kunsthochschulen gehört, Einsteigerkurse für Sensor-Interfaces anzubieten. Ein Bewusstsein für die medienreflexiven und historischen Spuren dieser Praxis hilft, Trivialität in aktuellen Projekten musikalischer Interfaces zu vermeiden. Frühe Herausforderungen der instrumentalen Anwendung digitalisierter Bewegungsdaten auf Klang waren etwa das Live-Sampling Anfang der 1990er, als Rechner kaum Audiodaten in Echtzeit verarbeiten konnten, oder die Fragen nach der Sinnhaftigkeit von Ergonomie und Automation im Interfacedesign (Ryan 1992). Diese sind in den 1990er Jahren in künstlerischen Forschungsprojekten am STEIM ausgelotet worden. Die Notwendigkeit der Sichtbarkeit von Archiven der Performancekunst ist ein Faktor für die Qualität aktueller Klangkunst rund um Gestische Controller. Ursprünglich außermusikalische Technologien wie Sensoren und Mikroprozessoren werden musikalisch interpretiert und erweitern so den Begriff des Musikinstrumentalen. Technologie wird benutzt, um Musik zu machen. Sobald dies ästhetisch funktioniert, beobachten wir Musikinstrumente.

LITERATUR

- Collins, Nicolas (1993): Exploded view: the musical instrument at twilight, in: Katalog zum STEIM-Festival *De Zoetgevooisde Bliksem*, Amsterdam: STEIM.
- Großmann, Rolf (2013): Die Materialität des Klangs und die Medienpraxis der Musikkultur. Ein verspäteter Gegenstand der Musikwissenschaft? in: Jens Schröter/Axel Volmar (Hg.), *Auditive Medienkulturen. Techniken des Hörens und Praktiken der Klanggestaltung*, Bielefeld: transcript, S. 61-78.
- Hagen, Wolfgang (2008): Busoni's Invention. Phantasmagoria and Errancies in Times of Medial Transition, in: Dieter Daniels (Hg.), *Artists as Inventors – Inventors as Artists*, Ostfildern: Hantje Cantz, S. 86-107.
- Krämer, Sybille (1998): Das Medium als Spur und als Apparat, in: Sybille Krämer (Hg.), *Medien – Computer – Realität. Wirklichkeitsvorstellungen und Neue Medien*. Frankfurt a.M.: Suhrkamp, S. 73-94.

3 | Seit einem guten Jahrzehnt sind Arduino-Boards ein preisgünstiger und relativ einfach zu konfigurierender Standard zur Erfassung von Sensordaten im Rechner über die USB-Schnittstelle. Vgl. www.arduino.cc

- Krefeld, Volker (1990): A Hand in The Web. An Interview with Michel Waisvisz, in: *Computer Music Journal* Jg. 14 No. 2, S. 28-33.
- Kvifte, Tellef (2007): *Instruments and the Electronic Age*, 2. Aufl., Oslo: Taragot Sounds.
- Miranda, Eduardo R./Wanderley, Marcelo M. (2006): *New Digital Musical Instruments. Control and Interaction Beyond the Keyboard*, Middleton: A-R Editions.
- Otto, Andi (2017): *Dutch Touch. Das SensorLab und The Hands als elektro-instrumentale Pionierentwicklungen des STEIM in den Jahren 1984-2000*, Lüneburg: Leuphana Universität (i.V.).
- Ploebst, Helmut (2011): Apparat und Abstraktion. Die Konstruktion des Körpers in der transmedialen Choreographie, in: Helmut Ploebst/Nicole Haitzinger (Hg.), *Versehen: Tanz in allen Medien*, München: epodium Verlag, S. 52-75.
- Ryan, Joel (1992): Effort and Expression, in: Allen Strange (Hg.), *International Computer Music Conference (ICMC Proceedings)*, San Francisco, CA: Computer Music Association, S. 414-418.
- Serres, Michel (2015) : *Musik*. Berlin: Merve.
- Stokowski, Leopold (1943): *Music for All of us*. Chapter 21: Instruments of the Past – Present – Future, New York: Simon and Schuster.
- Tanaka, Atau (2000): Musical Performance Practice on Sensor-based Instruments, in: Marc Battier/Marcelo M. Wanderley (Hg.), *Trends in Gestural Control of Music*, Paris: IRCAM Centre Pompidou, S. 389-406.
- Withalm, Gloria (2010): Zeichentheorien der Medien, in: Stefan Weber(Hg.), *Theorien der Medien. Von der Kulturkritik bis zum Konstruktivismus*, Konstanz: UVK, S. 124-133.