

Tönender Boden: Akustisch, ökologisch & künstlerische Erforschung des Bodenlebens

von **Marcus Mäder***, Martin M. Gossner**, Armin Keller***, Martin Neukom****

*** Zürcher Hochschule der Künste ZHdK und ETH Zürich, ** Waldentomologie, Eidgenössische Hochschule für Wald, Landschaft und Schnee Forschung WSL, *** Schweizerisches Bodenmessnetz NABO, Agroscope, **** Zürcher Hochschule der Künste ZHdK**

Abstrakt

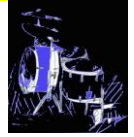
Das interdisziplinäre Projekt **Sounding Soil** erforscht die Klanglandschaft des Bodens und macht die Aktivität und Vielfalt von Bodenleben in einer künstlerisch-akustischen Sternwarte hörbar. **Hauptziel ist es, das Bodenbewusstsein in der Bevölkerung sowie bei Entscheidungsträgern zu stärken wobei Bodenpolitik und Lebensmittelproduzenten beteiligt sind. Beim Durchfahren oder Graben in der Bodenmatrix erzeugt die Bodenfauna Geräusche.** Außerdem scheinen einige Tiere den Boden als Kommunikationsmedium zu nutzen und bilden eine komplexe Klanglandschaft. Landnutzung und landwirtschaftliche Bewirtschaftung können stark ausgeprägt auf die Bodenschallkulisse einwirken. **So kann der (akustische) Reichtum einer lokalen Bodentiergemeinschaft als Indikator für die Funktionsfähigkeit eines Bodens dienen Ökosystem.**

➔ Im wissenschaftlichen Modul des Projekts **Sounding Soil** implementieren und testen wir akustische Indizes zur Bewertung der Bodenbiodiversität und -gemeinschaft in einer Komposition. Im Modul Kunst und Bürgerwissenschaften zeichnen mehrere Schweizer Bauern und in weiterer Folge die breite Öffentlichkeit die Klanglandschaften ihrer Böden auf mit einem kostengünstigen Aufnahmegerät auf. **Das Ergebnis ist eine Klangkunstinstallation als öffentlich zugängliche Sternwarte, die unsere wissenschaftlichen Erkenntnisse integriert mit Aufnahmen von Teilnehmern des Citizen Science-Moduls.** Dieser Artikel beschreibt den Charakter von Bodengeräuschlandschaften in landwirtschaftlich genutzten Flächen und Wäldern und berichtet über **unser Forschungsdesign** und erste Einblicke in die Zusammenhänge zwischen **Landnutzung, Bodenarten, Biodiversität und Bodenklanglandschaften.**

Schlagworte: Akustische Ökologie, Künstlerische Forschung, Bioakustik, Ökoakustik, Bodenökologie

Einführung

Böden präsentieren sich uns meist als vielfältige Oberfläche, während das Innere bleibt verborgen. Wir können die Mannigfaltigkeit an **Organismen und Lebensprozesse**, die in Böden vorkommen nicht sehen, aber wir können hören sie, wenn wir genau hinhören. **Bodenökosysteme sind komplex mit eng verwobenen biotische Interaktionen.** Böden sind sehr empfindlich gegen Störungen, wie beispielsweise **menschliche Landwirtschaftssysteme oder Waldbewirtschaftung.** Gesunde Böden sind von



Lebensmittel produziert werden, beeinflusst durch Abbau mit mineralischen Düngemitteln, Pestiziden und Antibiotika, sowie Bodenverdichtung durch immer schwerere Maschinen (**Oldeman 1994; Stolteet al. 2016**).

Diesbezüglich scheint es ein grundlegendes Wahrnehmungsproblem Umweltproblemen zu geben; die Pedosphäre und ihre Funktionen oder ihr Zustand der Gesundheit lässt sich nicht einfach oder sofort in ein sinnliches Erlebnis übersetzen.

*(Die **Pedosphäre** ist eine Erdsphäre und bezeichnet den von Böden eingenommenen Bereich der Erdoberfläche, in dem sich die Lithosphäre, die Hydrosphäre, die Atmosphäre und die Biosphäre überschneiden. Man kann auch sagen, die Pedosphäre umfasst die Gesamtheit der Böden des Planeten Erde.)*

Es ist eine Blackbox, die Experten öffnen und interpretieren müssen, und dann können sie ihre Erkenntnisse an „Nicht-Experten“ weitergeben (**Bouma 2010**). **Zum größtenteils ist der Boden unter unseren Füßen kein Gegenstand unsere Beobachtung oder Kontemplation;** er ist einfach da, und weil er sich unserer direkten Wahrnehmung entzieht, **behandeln wir unsere Erde wie eine tote Masse.**



Abb. 1. Was passiert unter der Oberfläche?

Deswegen ist Sensibilisierung für Bodenökosysteme ist von entscheidender Bedeutung. Wir brauchen Erfahrungen aus erster Hand über das Bodenleben und seine Gesundheit. Dies gilt nicht nur für die Verbraucher landwirtschaftlicher Produkte, sondern auch für die Produzenten in diesen Bereichen, wie Großhändler und politische Entscheidungsträger, sowie Forscher, die effektive Methoden zur Bodenerkundung in Ökosystemen suchen. Dementsprechend neue Formen des Forschens und Erlebens von Bodenökosysteme sind notwendig; **sie könnten das Bewusstsein für die Umwelt erhöhen** und beeinflussen gleichzeitig unsere Einstellungen und Verhaltensweisen gegenüber den Pedosphäre als Grundlage der Ernährung für alle zukünftigen Generationen.



Es besteht Bedarf an technischer Verbesserung und Erleichterung der Erforschung und Bewertung der Bodengesundheit, insbesondere zur Herstellung schneller Bewertungen der Biodiversität des Bodens, der Zusammensetzung dessen und der Gemeinschaft da lebender Tiere, samt deren Aktivität als Indikatoren für die Funktionalität des Bodenökosystems (Wagg et al. 2014).

Multifunktionaler, fruchtbarer, gesunder Boden liefert essentielle Nährstoffe für das Pflanzen- und Pflanzenwachstum, unterstützt ein vielfältiges und aktives Lebensgemeinschaft und ermöglicht einen ungestörten Abbau (Mäder et al. 2002).

Umgekehrt eine Gemeinschaft von vielfältigen und zahlreichen Böden der Fauna kann als Indikator für die Multifunktionalität von Bodenökosystemen dienen (Lavelle 1996; Griffiths et al. 2016; Aksoy et al. 2017).

Bestimmtes, wirbellose Bodengemeinschaften sind „zutiefst von menschlichen Aktivitäten betroffen; in den meisten Agrarökosystemen neigen sie dazu, zu verschwinden. Wenig wenn überhaupt wird auf mögliche Zusammenhänge zwischen der Beseitigung solcher wichtiger Regulatoren von Bodenprozessen und fehlender Nachhaltigkeit der meisten landwirtschaftlichen Systeme nachgedacht.“ (Lavelle 1996, 4). Maße oder Schätzungen der Bodenbiodiversität und -aktivität werden daher immer wichtiger bei der Bewertung der Funktionalität von Bodenökosystemen, **aber sie sind in der Regel technisch komplex und zeitaufwendig** (Griffiths et al. 2016). Im Allgemeinen muss der Ermittler eine Bodenprobe nehmen und durch Analyse im Labor oder Durchführung von Experimenten mit Mikrokosmen Daten heraus filtern. (Jones und Bradford 2001). Folglich ist die Probenahme als Prozess (normalerweise das Ausgraben des Bodens) entweder störend oder zerstörend für das Pedon oder ein künstliches Setup wird die Ermittlung verwendet.

*Das **Pedon** ist die kleinste räumliche Einheit der Bodenkunde. Der Begriff wurde in seiner jetzigen Bedeutung im Jahr 1960 in Nordamerika eingeführt. Nach der Kartieranleitung des United States Department of Agriculture entspricht das **Pedon** der grundlegenden Kartiereinheit.*

Eine **akustische Untersuchung und Bewertung der Biodiversität** der Bodenfauna und deren Aktivität können eine **Alternative** zu kostspieligen und invasiven Methoden sein (Sueur et al. 2008). **Fast jeder Organismus produziert Schallwellen, seine ihm eigene Lebensäußerung. Ob Bewegungsaktivität oder Kommunikation**, wir können einerseits potenziell hören, welcher Organismus unter welchen Umständen was tut und wir können die des Organismus kontextualisierende akustische Aktivität mit den Geräuschen der Umgebung auf der anderen Seite erfahren. **Akustische Einschätzungen des Reichtums lokaler Arten sind oft viel erschwinglicher als zum Beispiel eine reine Taxa-Biodiversität Inventur.** (Depraetere 2011).

Eine **ökoakustische Untersuchung beinhaltet die Platzierung von Audioaufnahmen Geräte mit Mikro**

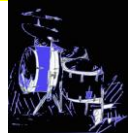


Abb. 2. Sondierugsboden-Vorstudie im Sommer 2016: *Testen anders akustische Sensoren an der WSL, Birmensdorf/Schweiz.*

Die Boden-Klanglandschaft Bodenakustik

Die Bodenakustik unterscheidet sich grundlegend von der atmosphärischen Akustik.

Die meisten Böden haben eine sehr heterogene Struktur bestehend aus organischen, mineralische, gasförmige und flüssige Bestandteile. Im Allgemeinen zeigen Bodenstrukturen einen starken Dämpfungseffekte auf Schallwellen, insbesondere auf Schallfrequenzen über 2 KHz (Oelze et al. 2002).

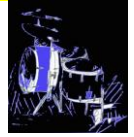
Um die 80 Hz sind für Regenwürmer z.B. optimal als Anregung über die Vibration im Boden.

Dämpfung

Schalldämpfung in Böden wird durch die poröse Struktur verursacht, sie streut, reflektiert, bricht und biegt alle Schallwellen, die durch die Bodenmatrix (Bourbié et al. 1987).

Außerdem ist die Dämpfung und Schallausbreitungsgeschwindigkeit in Böden abhängig vom Feuchtigkeitsgehalt und Dichte der Bodenstruktur (Lu und Sabatier 2008).

Weshalb, die Bandbreite der zu untersuchenden Signale viel schmäler ist bei Aufnahmen mit Mikrofonen in der Umgebung mit Luft. **Es reicht vom Infraschallspektrum (0–20 Hz) bis zu den unteren Teilen des parts hörbare Domäne.** Hochfrequenz- oder sogar Ultraschallsignale (über 20 KHz) können ebenfalls erfasst und gemessen werden, jedoch nur sehr lokal/in der Nähe der akustischen Sonden. **Diese Signale scheinen physikalischen Ursprungs zu sein und hängen mit Wasserinfiltration und Entwässerung der Bodenporensystem (Moebius 2013).**



Die Struktur von Bodenklanglandschaften

Wenn eine Geräuschkulisse mit ökoakustischen Methoden analysiert wird, es wird im Allgemeinen in verschiedene Gruppen von Schallquellen unterteilt bestehend aus Geophonien, Biophonien und Anthropophonien oder Technophonien (Farina 2014; Farina und Gage 2017).

Diese akustischen Komponenten setzen und repräsentieren die Struktur und die ökologischen Zusammenhänge einer Landschaft in unterschiedlichem Ausmaß und in unterschiedlicher Ausprägung (siehe Abb. 3).

Geräusche unbelebter Natur werden unter die Begriff Geophonien (z. B. die Geräusche von Wind, Regen, Wellen, Steinschlag oder Flüsse), während Klänge belebter Natur in das Reich der Biophonien (stimmliche oder vibrierende Kommunikation von Tieren, akustische Emissionen von Pflanzen und alle anderen physiologischen Geräusche von Organismen).

Auch menschliche Lautäußerungen (Sprache, Schreie usw.) Teil der Biophonien – im Gegensatz zu den anderen Geräuschen, die entstehen aus menschlichen/zivilisatorischen Aktivitäten, wie z.B. technologischen Klängen oder Verkehrslärm, die zur Kategorie der Anthropophonien gehören oder Technophonien bzw. Geophonien.

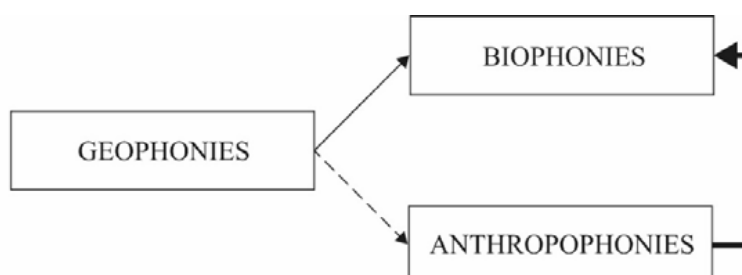


Abb. 3. Graph von Almo Farina: „Geophonien sind die Schallquellen, die haben direkten Einfluss auf Biophonien und sekundär auf Anthropophonien. Anthropophonien können sich stark auf Biophonien auswirken“ (Farina 2014, 11).

Im Boden sind zahlreiche geophysikalische Schallquellen identifizierbar. Die geoakustische Literatur konzentriert sich überwiegend auf die akustische Erkennung von Bewegungen im Erdmantel oder in Gesteinsschichten und weiter mit seismische Untersuchungen von Böden, Gesteinsschichten oder Meeresböden mittels aktiv-akustischer Methoden.

Es existieren jedoch auch einige akustische Studien in der Bodenphysik zur Bewegung von Bodenwasser (Flammer et al. 2000; Moebius 2013) oder ständig auftretende Veränderungen der physikalischen Bodenmatrix, wie Porenverschiebungen (DiCarlo et al. 2003).

Akustische Parameter können zur Überwachung sich ändernder Bodeneigenschaften wie Porosität, Wasser Gehalt und Wasserpotential verwendet werden. (Lu und Sabatier 2009).

Gemäß Far

Landschaft, erscheinen jedoch episodisch; viel mehr akustische Aktivität ist im Bereich der Biophonien zu finden.



Biophonien

Über die akustische Aktivität der Bodenfauna ist wenig bekannt und Flora. Eine Handvoll Studien wurden durchgeführt, um dies zu untersuchen Bodeninsektenbefall akustisch (Mankin und Fisher 2002; Brandhorst-Hubbard et al. 2001) und die Schwingungskommunikation von Insekten, die das Substrat als Nahfeldkommunikation nutzen mittel (Virant-Doberlet und Cokl 2004; Cocroft und Rodriguez 2005). Die am häufigsten auftretenden akustischen Manifestationen von Bodentiere bestehen aus Bewegungs- und Fressgeräuschen durch die Meso- und Makrofauna.

Die Frequenzen solcher physiologischer Geräusche (Kriechen, Kauen, Graben etc.) variieren je nach Körpergröße (vgl. Abb. 10), Morphologie und artspezifischem Verhalten der in einem Pedon vorkommenden Tiere (Mankin et al. 2011).

Darüber hinaus leben bestimmte Tiere im Boden oder auf seiner Oberfläche akustisch oder seismisch (Vibrationskommunikation) miteinander kommunizieren, was das Hören von Boden überraschend und faszinierendes Erlebnis. Diese Signale werden von der stridulatorischen Apparate (Beine, Unterkiefer oder andere Körperteile) von Bodeninsekten (Erwachsene) sowie Larven). Einige Studien haben die Stridulation untersucht Signale von Unterwasserameisen, die ihren Artgenossen ihre Position signalisieren (Markl 1965) oder Signale zur Rekrutierung von Nestkameraden für Nahrungsressourcen (Baroni-Urbani et al. 1988), während andere Berichte auf die Schwingungskommunikation von Gras- und Zikaden unter Verwendung der Substrat (Pflanzen, Boden) als Kommunikationsmedium für die Paarung (Heldmaier und Werner 2003). Monica Gagliano et al. (2012) untersuchten die Schallemissionen von Pflanzenwurzeln und antizipiert, „dass Pflanzenschallabstrahlung nicht ist“ einfach ein zufälliges mechanisches Nebenprodukt, das auf Kavitation zurückzuführen ist [akustische Trockenstresssignale/-indikatoren, die Hrsg.] allein; Jüngste Beweise zeigen, dass die jungen Wurzeln des Mais strukturierte, spitzenartige, akustische Emissionen.“ Ob diese akustischen -Emissionen – wie Gagliano (2012) argumentiert – haben eine Signalisierung oder Kommunikation Zweck in und zwischen Pflanzen bleibt unbeantwortet Frage.

Anthropophonien/Technophonien

Noch weniger ist über den menschlichen Einfluss auf Bodengeräusche bekannt. Nach unserem besten Wissen hat keine Studie die ökologischen Auswirkungen von Lärmbelästigung in Böden. Wir können davon ausgehen, dass anthropogene Schall- und Schwingungsemissionen wirken sich auf Bodentiere aus Verhalten sowie Artenzusammensetzung, Häufigkeit und Inter

Ein **Spektrogramm** ist eine bildbasierte Darstellung der Amplitude verschiedener Frequenzen (Tönen) in Abhängigkeit von der Zeit. Bei Audio-Signalen lassen sich damit die einzelnen Frequenzen, aus denen das Signal besteht, auslesen. Dank **Gabor Transformation** haben wir nun eine Information, wann, also zu welcher Zeit t , welcher Ton hörbar ist.

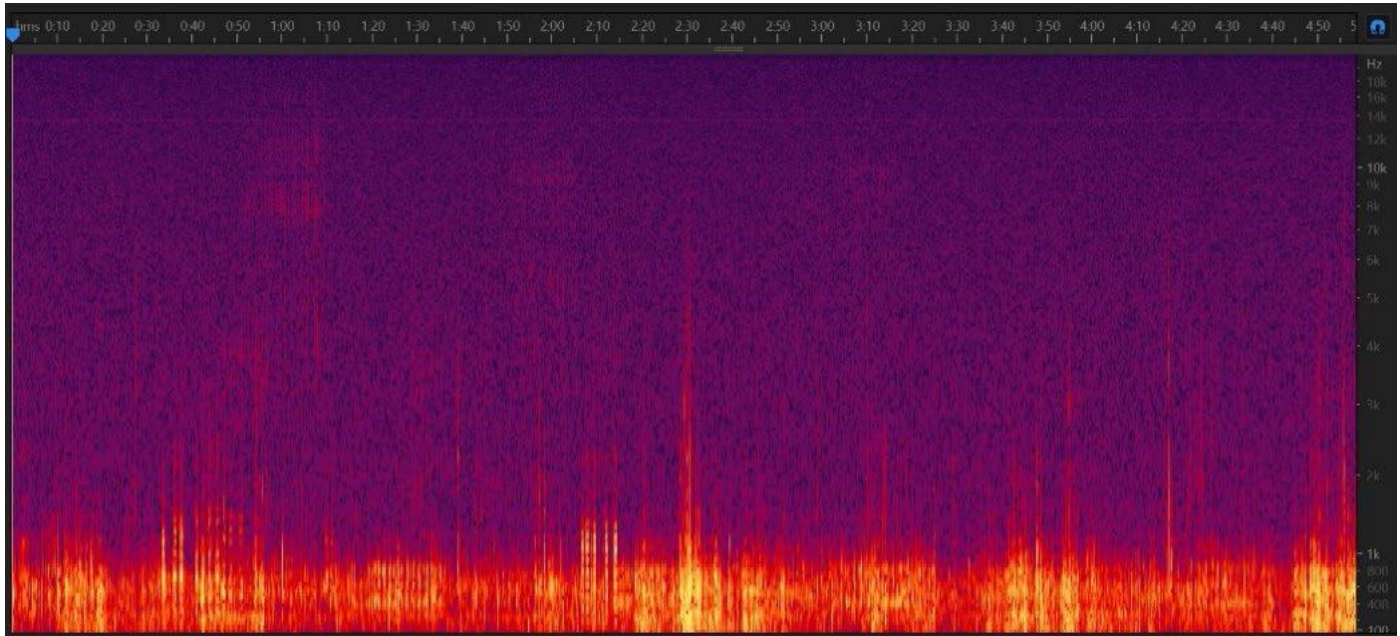


Abb. 4. Spektrogramm der akustischen Aktivität einer Bodengemeinschaft auf einer Wiese, Wallis, Schweiz. Manche Biotope weisen eine immense Vielfalt an bodengebundene biogene Schallquellen. Die Überlagerung von Bewegungsgeräuschen, Kommunikationsanrufen und Wind/bewegter Vegetation macht Ökoakustik Untersuchungen von Bodenschalllandschaften eine Herausforderung.

7



Einschub

10 RONDO CLARINET
Allegro

8

Gleichzeitige Darstellung von Zeit- und Frequenzbereich durch Musiknoten

Norbert WIENER, der weltberühmte Mathematiker und Vater der Kybernetik, schreibt in seiner Autobiographie (ECON-Verlag):

„Nun sehen wir uns einmal an, was die Notenschrift wirklich bezeichnet. Die **vertikale Stellung** einer Note im Liniensystem **gibt die Tonhöhe oder Frequenz** an, während die **horizontale Stellung** diese Höhe der **Zeit** gemäß einteilt“ ... „So erscheint die **musikalische Notation** auf den ersten Blick ein System darzustellen, in dem die **Schwingungen** auf zwei voneinander unabhängige Arten bezeichnet werden können, nämlich nach **Frequenz und zeitlicher Dauer**“. Nun sind „die Dinge doch nicht so ganz einfach. Die Zahl der Schwingungen pro Sekunde, die eine Note umfasst, ist eine Angabe, die sich nicht nur auf die Frequenz bezieht, sondern auch auf etwas, was zeitlich verteilt ist“ ... „Eine Note zu beginnen und zu enden, bedingt eine Änderung ihrer Frequenzkombination, die zwar sehr klein sein kann, aber sehr real ist. **Eine Note, die nur eine begrenzte Zeit dauert, muss als Band einfacher harmonischer Bewegungen aufgefasst werden, von denen keine als die einzig gegenwärtige einfache harmonische Bewegung betrachtet werden darf.**

➔ Zeitliche Präzision bedeutet eine gewisse Unbestimmtheit der Tonhöhe, genau wie die Präzision der Tonhöhe eine zeitliche Indifferenz bedingt“.

Darüber hinaus ist der **Einfluss von Anthropophonien und Technophonien auf Ökosysteme** ist zu einem Thema in der künstlerischen Untersuchung und Produktion geworden. Leah Barclay zeigte eindrucksvolle Beispiele für die Wirkung von Boot Verkehrslärm auf die Wasserfauna in Flüssen und im Meer (Bianchi und Manzo 2016)# auf der



Sound & Environment Conference 2017. Einer von die Ziele unseres Sounding Soil-Projekts in diesem Zusammenhang ist es, zu untersuchen und solche Effekte in Böden künstlerisch erlebbar machen – nicht nur hinsichtlich der Lärmbelastigung, insbesondere aber hinsichtlich der Formularenen und Intensitäten der Landnutzung (land- und forstwirtschaftliche Bewirtschaftung) und deren Auswirkungen auf die Bodengeräusche.

Eine Erkundung der Schweizer Böden

Landnutzung und Humusformen

Im Sommer 2017 haben wir Aufnahme- und Stichprobenverfahren in 20 verschiedenen Böden in der Schweiz durchgeführt bei genau definiertem Monitoring Standorte des Schweizerischen Bodenmessnetzes (Gubler et al. 2015). Die Stichproben wurden entlang eines Landnutzungsgradienten ausgewählt (landwirtschaftliche Parzellen: von intensiver bis extensiver oder biologischer Bewirtschaftung) und Humusformen (Waldböden: von Mull bis Mor) mit drei Wiederholungen (Art der Landnutzung/Humusform). Die Websites wurden ausgewählt, um a große Auswahl an verschiedenen Bodenarten zum **Erkunden möglicher Unterschiede in der Komposition ihrer Klanglandschaften** und untersuchen ob verschiedene Arten der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung sowie Forst Bodenhumuszusammensetzungen beeinflussen das, was unter der Erde zu hören ist.

9

Aufnahme- und Messtechnik

Da Böden zu einem großen Teil aus fester Struktur bestehen, sind Detektion und Messgeräte aus dem Bereich der physikalischen Akustik am besten zu gebrauchen:

Piezo-Kontaktsensoren, Geophone, Beschleunigungsmesser usw. (Mankin et al. 2000). Solche Sensoren müssen physikalisch an die Bodenmatrix gekoppelt oder durch Vergraben oder Einstecken in den Boden platziert werden. **Wir haben Eigenbau modifiziert Kontaktsensoren, die zuvor für die Erfassung in Pflanzen entwickelt wurden (Maeder 2015), um sie mit einer Bodenfläche mit einem Radius von ca. . zu koppeln 30 cm und einer Tiefe von 30 cm – das ist die oberste Bodenschicht, die dient als Hauptlebensraum der meisten Bodenorganismen.** Die Sensoren bestehen aus einer einfachen **Piezomembran (15 mm Durchmesser)**, auf die wir eine vergoldete Kup

computer jazz and electronic sound music

Udo matthias 07626-2 999 847

mobil: 017621-605276

<http://www.udomatthias.com>

<https://www.facebook.com/udo.matthias.3>

info@udomatthias.com

If it feels good, it must be in time!!

entwickeln wir gerade eine kostengünstige Aufnahme Gerät zur
Verwendung im später beschriebenen Citizen Science-Teil des Sounding-Boden-Projekt.

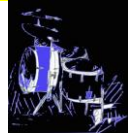
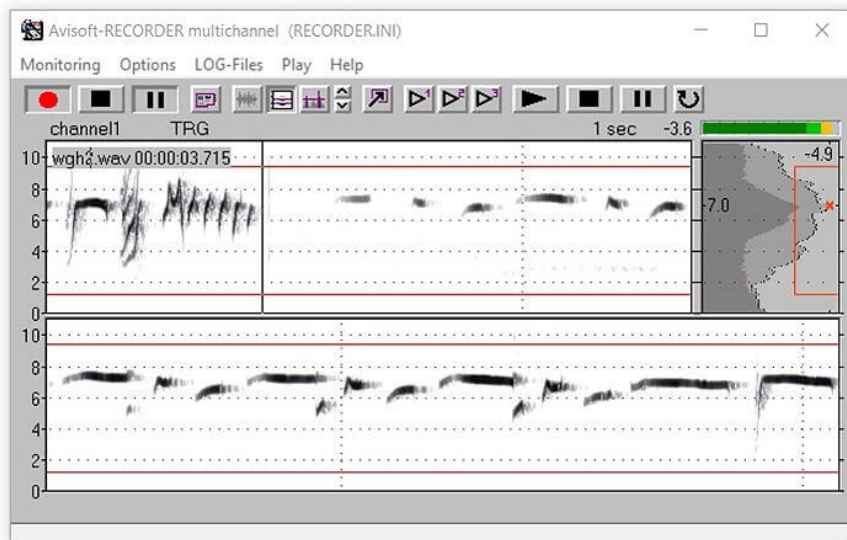


Abb. 6. Mobiles Aufnahmegerät mit Vorverstärker und Eigenbau akustischer Sensor.



Avisoft



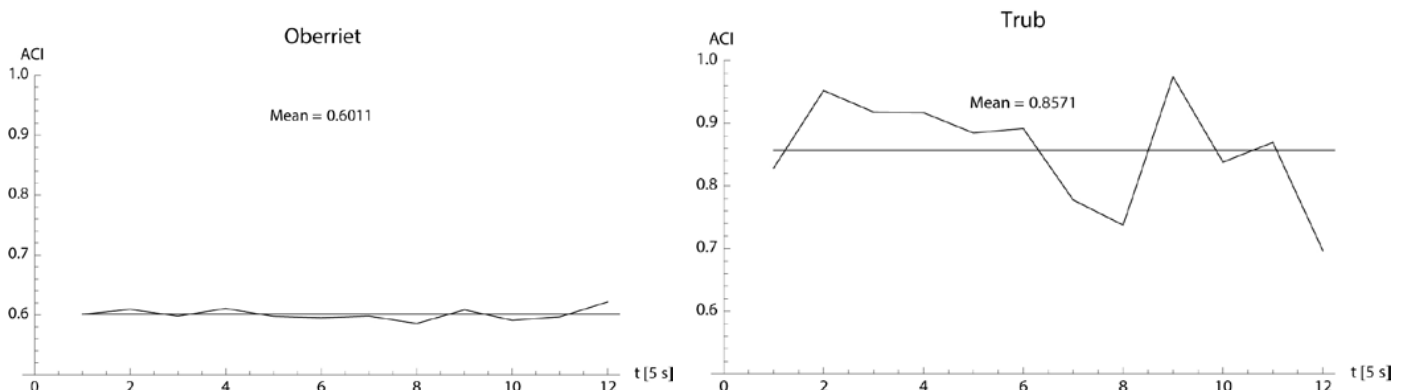
Bei der Konzeption und Planung von akustischen Aufnahmen in Böden

If it feels good, it must be in time!!

sind wichtige Faktoren zu berücksichtigen. Windiges Wetter und Regenwetter ist zu vermeiden oder aus der Analyse auszuschließen. Regentropfen können auf die Sensoren oder deren Kabel treffen und Artefakte erzeugen, ähnlich wie der Wind Kabel oder Vegetation bewegt (was zu Bewegungsgeräuschen, die über Stängel und Wurzeln auf den Boden übertragen wird). **Nähe zu stark befahrenen Straßen, Autobahnen, Bahngleisen oder Baustellen sollten ebenfalls vermieden werden**, da die Erschütterungen von schweren Maschinen sich über Hunderte von Metern im Boden ausbreiten. Wenn der untersuchte Boden in einem Gebiet sind wichtige Faktoren zu berücksichtigen, in dem beträchtliche Tier Bewegung erwartet wird, muss der Aufnahmebereich mit Barrieren oder Gitter abgesteckt werden.

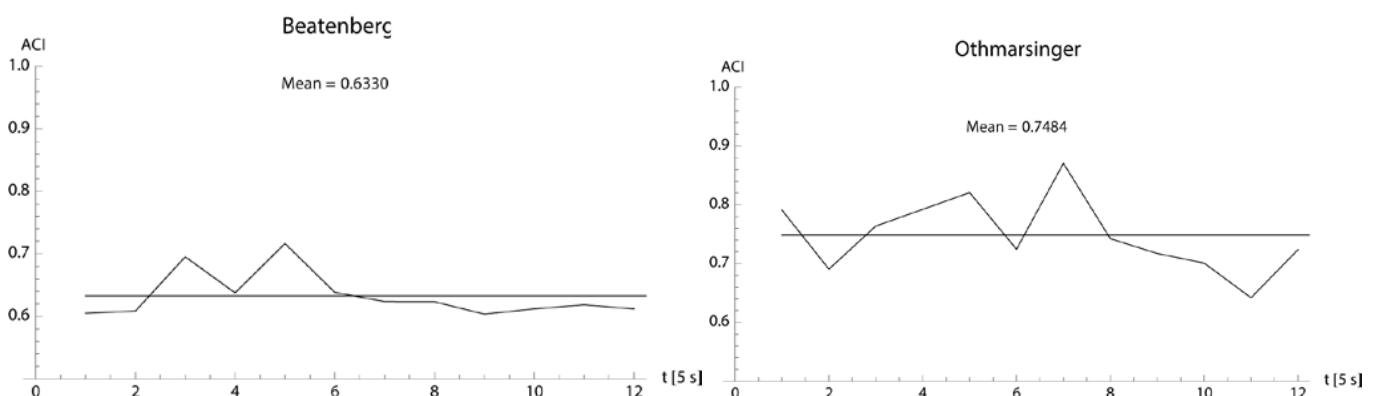


Nicht zuletzt der sollte Rekorder und seine Aufnahmegeräte so weit wie möglich vom Sensor entfernt positioniert werden, um das Aufzeichnen eigener Bewegungsgeräusche zu vermeiden (mindestens 3m Kabellänge zwischen Vorverstärker und Aufnahmegerät, im Gegensatz zum Sensorkabel, das möglichst kurz sein sollte – idealerweise 20–30 cm) sollten eingehalten werden. Die oben genannten Probleme mit niedriger Frequenz/Vibrations- Umgebungsgeräusche können teilweise durch den Einsatz von Hochpass gelöst werden Filter bei 50–100 Hz.



11

Abb. 7. Messungen des **Acoustic Complexity Index (ACI)** von zwei Ackerböden (1 min Ausschnitte, 5 s Intervalle). **Links:** Ackerboden mit Industriekartoffeln und konventionelle landwirtschaftliche Bewirtschaftung (Oberriet, Schweiz). **Rechts:** Ackerboden mit Hafer, angebaut in ökologischer Landwirtschaft (Trub, Schweiz). Das rechte Beispiel zeigt höhere ACI-Raten.





Ökoakustische Untersuchungen

Unser Recording und Sampling im Sommer 2017 zielte darauf ab zu untersuchen, ob Gradienten der menschlichen Landnutzung und Humus/Abfall Zusammensetzung und die Komplexität einer Bodengeräuschlandschaft beeinflussen (Abb. 7 und 8). **Akustische Komplexität hat in den letzten Jahren eine wichtige Rolle gespielt in der ökoakustischen Forschung** (Pierretti et al. 2011). Es kann als Indikator für die Biodiversität in einem bestimmten Sektor eines Ökosystems oder einer Landschaft dienen (Harris et al. 2016). Die Vielfalt und Komplexität von Audioinformationen in einer Geräuschkulisse kann durch verschiedene akustische Indizes gemessen werden (Sueur et al. 2014), die auf Tonaufnahmen angewendet werden. **In unserer ersten Analyse haben wir zwei verschiedene akustische Indizes verwendet und verglichen: den Acoustic Complexity Index (ACI) und den Akustischer Entropieindex (AEI).** Da der AEI sehr **empfindlich auf Hintergrundgeräusche** in der Umgebung, haben wir uns für die Verwendung des ACI für unsere Field Recordings entschieden – diese hatten **eine standardisierte Länge von 15 Minuten** insgesamt, und wir haben **einen 1-minütigen Ausschnitt jeder Aufnahme ausgewählt** für unsere Analyse (ein Ausschnitt der Aufnahme mit den wenigsten Hintergründen Lärm). **Die Auszüge wurden mit einem Tiefpassfilter bei 2 KHz gefiltert und anschließend mit dem ACI-Algorithmus in 5-Sekunden-Schritten und einer FFT analysiert** - Fenstergröße von 1.024.

Auf dem gleichen Grundstück, auf dem wir die Audioaufnahmen gemacht haben, haben wir Samples aus der obersten Bodenschicht mit **einem Kempson-Corer von 30 cm** entnommen Durchmesser und 20 cm Länge, empfohlen als geeignete Methode für Bewertung der Bodenfauna im Rahmen einer **Rapid Ecosystem Function Bewertung** (Meyer et al. 2017). Die Wurfschicht war separat in Plastiktüten gesammelt. Die Proben wurden ins Labor gebracht und die Boden-/Wurftiere wurden mit dem Berlese/Winkler-Methoden (Sabu et al. 2009; Meyer et al. 2017) festgestellt. Die gesammelten Tiere wurden, meist auf der Ebene taxonomischer Ordnungen gezählt (Dunger 1983).



Wir verglichen/korrelierten dann unseren ACI Messungen mit den taxonomischen Zählungen (Abb. 9). Wir fanden signifikante Unterschiede in der akustischen Komplexität zwischen verschiedene Landnutzungstypen, mit den höchsten Werten in extensiv bewirtschaftetes Grasland und am niedrigsten bei Ackerflächen (Abb. 9). Intensiv bewirtschaftete Wiesen und Wälder hatten Zwischenwerte. Die Größe Variabilität innerhalb von Grünland kann durch die unterschiedlichen Landwirte erklärt werden Behandlungsmethoden innerhalb der Managementsysteme – einige ihr Land nachhaltiger bewirtschaften als andere, und im Falle von eine Erklärung zur intensiven Bewirtschaftung in Bezug auf die Düngung Pläne, Beweidung und Bewegungsmuster.

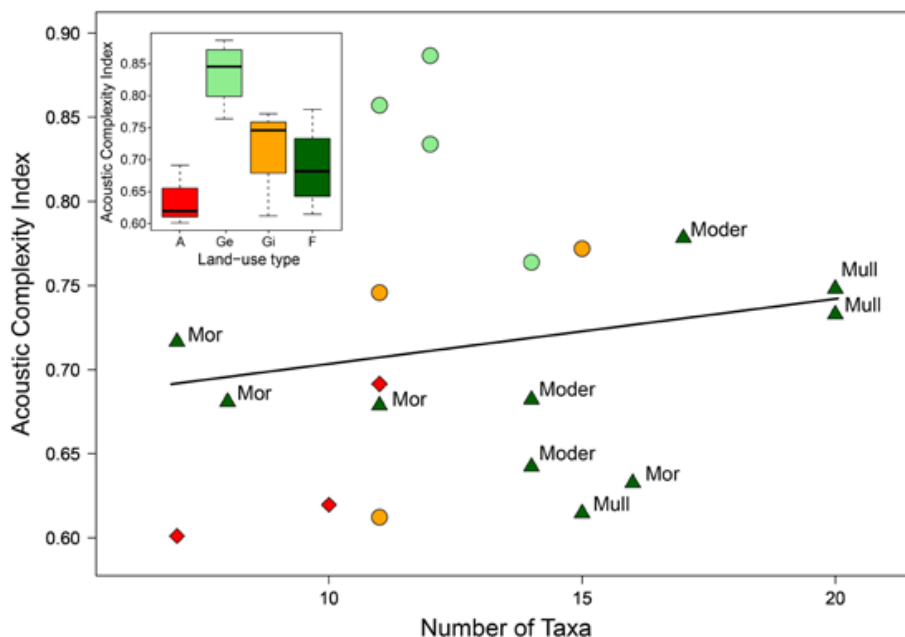
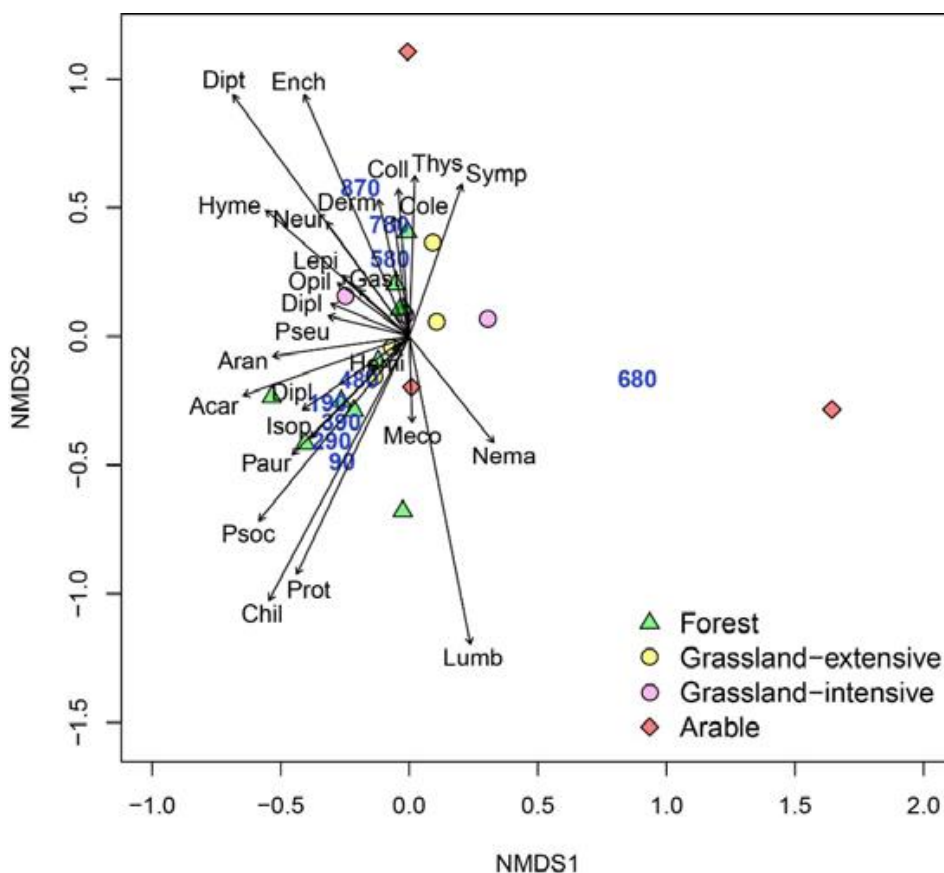


Abb. 9. Der ACI als Funktion des Reichtums der Bodentaxa, bewertet durch Berlese-Inkubation von Bodenkernen (Kempson-Methode). Unterschiedliche Landnutzung Typen sind durch unterschiedliche Farben und Symbole gekennzeichnet. A =Ackerfeld, G =Grünland (I =intensiv bewirtschaftet, e =extensiv bewirtschaftet), F =Wald (entsprechende Humusformen sind durch die Etiketten gekennzeichnet). Die Schwarze Linie zeigt eine lineare Regression über alle Standorte.

Die hohe Variabilität innerhalb Wälder können durch die unterschiedliche Aktivität in verschiedenen Bodentypen erklärt werden. Die Ergebnisse zeigen eine insgesamt schwache, positive Beziehung zwischen akustische Komplexität

über moder bis hin zu mull/besser). Die schwach beobachtete Korrelation in offenen Landnutzungstypen sowie in Wäldern gewesen sein könnte aufgrund der geringen taxonomischen Auflösung oder der Besonderheiten Taxa können ihre Aktivität während der Aufzeichnungen nicht gut widerspiegeln werde dies im nächsten Schritt genauer untersuchen. Durch die Analyse der Zusammensetzung aller Signale (d. h. ihrer Spitze Frequenzen) und Bodenfauna fanden wir einen guten Hinweis darauf, dass Lowand hochfrequente Schallsignale sind mit einer Fülle verbunden bestimmter bodenbewohnender Taxa (Abb. 10). Während niederfrequente Signale scheinen mit einer Fülle von Taxa mit einem großen Körper verbunden zu sein Größe (z. B. Diplopoda, Isopoda, Chilopoda), Hochfrequenzsignale scheint Taxa mit kleiner Körpergröße widerzuspiegeln (z.B. Collembola, Enchytraeidae, Diptera-Larven). Dies liefert einen ersten Hinweis darauf, dass ein akustisches Signal mit einer bestimmten Frequenz kann die Auftreten bestimmter Taxa.





Kunst und Bürgerwissenschaft

Bodenbewusstsein stärken: Gelegen Umwelterfahrungen Ansätze in Kognitionswissenschaften und Umweltbildung die mit Verkörperungstheorien verbunden sind, interpretieren menschliches Lernen und Wissen als Produkt von Interaktionen zwischen Körper/Geist und die Umwelt (Csordas 1994; Kiefer und Trumpf 2012). Philipp Payne (1997) schlug vor, den Körper als „lokalisierten“ Ort für Umweltprobleme verstehen, erklären und darauf reagieren als Strategie zur Überwindung der Kluft zwischen Theorie und Praxis sowie zwischen Expertenwissen und „naiver“ Erfahrung aus erster Hand. Anstatt die Lernenden aus ihrem Alltag und ihren Praxisgemeinschaften und deren Entfremdung in abstrakten Umwelt Lernumstände, schlug Payne vor, genauer hinzusehen was „erlebte“ Erfahrung ausmacht (Abb. 11) – also wie neue, andere und situierte Erfahrungen können selbstverständlich sein Eigenverantwortung und Rechenschaftspflicht für Umweltprobleme und installieren Sie auch eine kritische ökologische Ontologie.

Klang als intimer Sinneseindruck, der Emotionen auslöst (Bachowski und Owen 2003) ist ein wesentlicher Bestandteil fast aller tägliche Erfahrungen und soziale Interaktionen (Martin 1996). Klang, und vor allem Klangkunst als reflexive „Klangpraxis“ scheint das Untersuchungs- und Vermittlungsinstrument der Wahl sein für situierte Umwelterfahrungen (Maeder 2014, 2017). Gelegen Erfahrungen machen das aus, was die Pädagogik als situiertes Lernen anerkennt (Anderson et al. 1996), wo Handlungsfähigkeit und Lernen eingebettet sind in sozialen, kulturellen und biologischen Kontexten. Ein situiertes Erlebnis ist eine körperliche Erfahrung (durch die Körpersinne), die in einem dialogisches Engagement in einem spezif



Abb. 11. Bodenhören im **Zentrum Paul Klee**, Bern, Juni 2018.



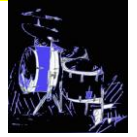
Abb. 12. Entwicklung eines kostengünstigen Aufzeichnungsgeräts für den Bürger Wissenschaftsmodul des Projekts **Sounding Soil**



vier Kanäle unserer Aufnahmen sind auf verschiedenen Ebenen/Teilen des räumlichen Audiolausprechersystems installiert. Der Kanal, der zum Beispiel die Aufnahme des Luftmikrofons enthält, wird auf der Oberseite/Decke des Behälters platziert, während der Bodenoberfläche Kanal etwas tiefer gelegt und der Bodenkanal die untere Hälfte des Lautsprechersystems wiedergegeben wird. Die räumliche Verteilung der Schallquellen und die dunkle Umgebung mit minimalem Lichteinfall durch kleine Röhren in der Decke/ Bodenbehälter (Simulation von Bodenporen) **bieten ein immersives Erlebnis und den Eindruck erwecken, im Boden zu sein.** Zusätzlich, Informationen zu den Aufnahmeflächen, einige bodenkundliche Grundlagen, sowie sowie nachhaltige Bodenbearbeitung und Verbraucherverhalten sind vorhanden auf der Konsole der Installation.

Schlussfolgerungen

Unsere Studie ist eine der ersten, die die Klanglandschaften in Böden erforscht und ihre Beziehungen zu Landnutzungs- und Lebensraummerkmalen wie sowie Biodiversität.



Danksagung

Sounding Soil wird in Zusammenarbeit zwischen den Zürcher Hochschule der Künste (ZHdK)/Institut für Computer Musik- und Tontechnik (Projektleitung), des Bundes Institut für Wald-, Schnee- und Landschaftsforschung WSL, die Schweizer Bodenüberwachungsnetz (NABO), das Institut für terrestrische Ökosysteme und das USYS TdLab der Eidgenössischen Hochschule für Technologie (ETH) in Zürich und die Stiftung Biovision für Ökologische Entwicklung unterstützt.

Besonders bedanken möchten wir uns bei den Mitarbeiter des WSL Entomology Lab und Forest Soils Group für ihre großzügige Unterstützung bei der Analyse unserer Bodenproben: Kevin Kleeb, Doris Schneider-Mathys, Stella Mathis und Marco Walser. Auch bedanken wir uns bei Julia Franzen und Michael Müller aus dem Schweizerischen Bodenmessnetz NABO für die Unterstützung



Abb. 13. Die Sounding Soil Installation im Zentrum Paul Klee.

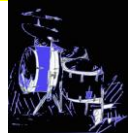
Verweise

Adhikari, K. und A.E. Hartemink. 2016. „Verknüpfung von Böden mit Ökosystemen“ Dienstleistungen: Ein globaler Überblick.“ *Geoderma* 262: 101–11.

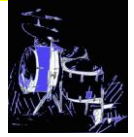
Aksoy, E., G. Louwagie, C. Gardi, M. Gregor, C. Schröder und M. Löhnertz. 2017. „Bewertung der Biodiversitätspotenziale des Bodens in Europa.“ *Wissenschaft der Gesamtumwelt* 589: 236–49.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv>

Anderson, J. R., L



- Brandhorst-Hubbard, J. L., K. L. Flanders, R. W. Mankin, E. A. Guertal, und R. L. Crocker. 2001. „Kartierung des Bodeninsektenbefalls, die von beprobt wurden Ausgrabung und akustische Methoden.“ Zeitschrift für Wirtschaftsentsomologie 94 (6): 1452–58.
- Busch, K. 2009. „Künstlerische Forschung und Poetik des Wissens“. Kunst & Forschung 2 (2).
<http://www.artandresearch.org.uk/v2n2/busch.html>
- Carpenter, S. R. 1996. „Mikrokosmos-Experimente haben begrenzte Relevanz für Gemeinschafts- und Ökosystemökologie.“ Ökologie 77 (3): 677–80.
- Chesmore, D. 2008. „Automatisierte bioakustische Identifizierung von Insekten“ für phytosanitäre und ökologische Anwendungen.“ Verfahren der Internationales Expertentreffen zum IT-basierten Nachweis von Bioakustik Muster. Bundes



Greiner, L., A. Keller, A. Grêt-Regamey und A. Papritz. 2017. „Bodenfunktion Bewertung: Überprüfung der Methoden zur Quantifizierung der Beiträge von Böden zu Ökosystemleistungen.“ Landnutzungsrichtlinie 69: 224–37. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.06.025>.

Griffiths, B. S., J. Römbke, R. M. Schmelz, A. Scheffczyk, J. H. Faber, J. Bloem, G. Pérès, D. Cluzeau, A. Chabbi, M. Suhadolc, J. P. Sousa, P. Martins da Silva, F. Carvalho, S. Mendes, P. Morais, R. Francisco, C. Pereira, M. Bonkowski, S. Geisen, R. D. Bardgett, F. T. de Vries, T.

<



- Meyer, E. 1996. „Endogeische Makrofauna“. In Methoden in der Bodenbiologie, bearbeitet von , 346–354. Berlin: Springer.
- Miles, M. 2014. Ökoästhetik: Kunst, Literatur und Architektur in einer Zeit von Klimawandel. London: Bloomsbury-Verlag.
- Moebius, F. 2013. „Pore Scale Characterization of Displacement front Dynamik in porösen Medien – Grenzflächensprünge, Druckstöße und Akustische Emissionen.“ Dissertation ETH Zürich Nr. 21584.
- Oldeman, L.R. 1994. „Das globale Ausmaß der Bodendegradation.“ ISCRIC Halbjahresbericht 1991–1992, 19–36.
- Morrison, A. J., P. Mitchell und M. Brereton. 2007. „Die Linse von Ludic Engagement: Evaluation der Teilnahme an interaktiven Kunstinstallationen.“ Tagungsband der 15. ACM International Conference on Multimedia, 509–12.
- Oelze, M. L., W. D. O'Brien und R. G. Darmody. 2002. „Messung von