

# drumbeam - ein ausdrucksstarkes elektronisches Schlaginstrument

Sebastian Merchel, Florian Helling, Ercan Altinsoy

Technische Universität Dresden, Lehrstuhl für Akustik und Haptik,

E-Mail: [sebastian.merchel@tu-dresden.de](mailto:sebastian.merchel@tu-dresden.de)

## Einleitung

Im Vergleich mit der langen Geschichte der Musikinstrumente sind elektronische Instrumente immer noch Neulinge, die oft versuchen klassische Instrumente zu imitieren. Klassische Trommeln oder Perkussionsinstrumente können sehr unterschiedliche Klänge erzeugen, je nachdem wie und womit sie angeschlagen oder abgedämpft werden. Elektronische Schlaginstrumente sind bisher viel beschränkter. Weit verbreitet sind z.B. E-Drums oder Sampling Pads: Diese erkennen nur einen Anschlag, oft sogar nur eine Position, pro Schlagfläche. Durch einen Schlagimpuls werden meist vorgefertigte Sounds oder eine eindimensionale Soundsynthese getriggert. Leider sind ihre musikalischen Ausdrucksmöglichkeiten oft sehr eingeschränkt, da sie wenig expressives Spiel und dadurch keine virtuose Klangvariation erlauben.

Der Ingenieur und Synthesizer-Pionier Roger Linn beschreibt in [1] die Notwendigkeit zur Entwicklung neuer, expressiver elektronischer Musikinstrumente. Nach Linn tritt elektronische Musik gegenüber akustischer Musik oft in den Hintergrund, da elektronische Musikinstrumente weniger expressives Spiel und Virtuosität ermöglichen, als herkömmliche Instrumente. Er bezeichnet die aktuelle Ära der Musikinstrumente in der in Abbildung 1 wiedergegebenen Grafik als „Ära der An/Aus Schalter“ und sieht einen baldigen Paradigmenwechsel hin zu neuen expressiven elektronischen Instrumenten.

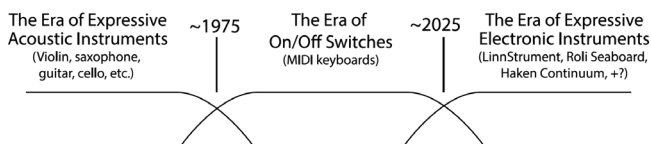


Abbildung 1: Zeitstrahl der Entwicklung von Musikinstrumenten nach Roger Linn [1].

Expressivität wird in [2] mit Klängen assoziiert, welche durch physische Gesten erzeugt werden. Hierbei muss nicht primär die Geste selbst expressiv sein, sondern die die Interaktion und der erzeugte Klang. Auch visuelles Feedback kann die Expressivität eines Instrumentes unterstützen. An solchen neuen expressiven Instrumenten wird seit der Verfügbarkeit moderner Sensoren und eingebetteter Rechentechnik geforscht. Im Bereich der Human Computer Interaction (HCI) und der New Interfaces for Musical Expression (NIME) entstanden verschiedene Konzepte zur Entwicklung neuer digitaler Musikinstrumente (DMI) und smarterer Musikinstrumente (SMI) [3]. Häufig lag dabei der Fokus auf der Erweiterung konventioneller Instrumente durch zusätzliche Sensoren. Von den vielen neu vorgestellten DMIs sind nur wenige auf perkussives Spiel ausgelegt, wie beispielsweise das Electronic Tabla [4]. Daher wurde in den letzten Jahren ein expressives Perkussionsinstrument entwickelt, welches für das Spiel mit Schlagzeugstöcken optimiert ist – der drumbeam.

Es handelt sich um ein elektronisches Musikinstrument in Form eines balkenförmigen Midi-Controllers der vielfältige musikalische Gesten der Musiker\*innen erkennt, z.B. Schlagen, Streichgesten oder mehrere gleichzeitige Berührungen mit variablem Druck. Dadurch entstehen neue, ausdrucksstarke Interaktionsmöglichkeiten zur Klangerzeugung. Das Gerät wird zunächst mit einem externen Synthesizer für die Soundgenerierung (z.B. Computer oder Handy) genutzt an den die erfassten Gesten per MIDI weitergeleitet werden. Zusätzlich zum erzeugten Klang besitzt das Instrument ein LED-Interface für optisches Feedback und eine rückprellende Schlagfläche für haptisches Feedback. Eine schematische Darstellung ist in Abbildung 2 zu sehen.

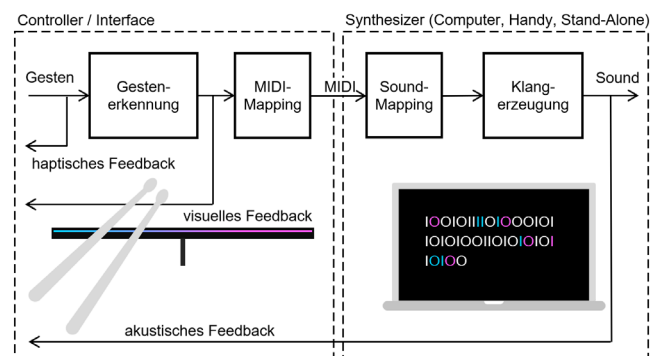


Abbildung 2: Schematische Darstellung eines elektronischen Musikinstrumentes in Anlehnung an [5].

Abbildung 3 zeigt die Erprobung von drei Prototypen des drumbeam mit unterschiedlichen Materialien der Schlagfläche. Eine systematische Untersuchung der relevanten Materialparameter für das haptische Feedback ist Gegenstand dieses Beitrags. Zuvor soll jedoch kurz der Aufbau sowie die wichtigsten Merkmale des drumbeam skizziert werden.



Abbildung 3: Erprobung von drei drumbeam mit unterschiedlichen Schlagflächen in einer Jam-Session am Lehrstuhl.

## Aufbau

Der schematische Aufbau des drumbeam ist in Abbildung 4 dargestellt. Direkt unter dem Oberflächenmaterial befinden sich die Berührungssensoren. Die Auswertung der Sensoren erfolgt mittels eines Mikrocontrollers. Durch die Software im Mikrocontroller werden Berührungsmuster erkannt und in Steuerbefehle umgewandelt.

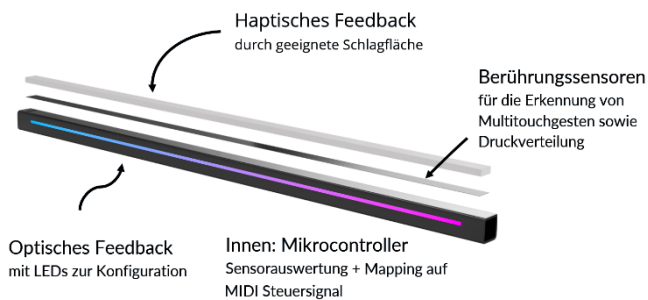


Abbildung 4: Schematischer Aufbau des drumbeam

Außerdem steuert der Mikrocontroller ein Farb-LED-Array auf der Vorderseite des Instruments. Dieses Array sorgt für ein intuitives optisches Feedback für den/die Nutzer\*in und die Zuschauer\*innen. Es kann frei konfiguriert werden und schafft dadurch vielfältige Einsatzmöglichkeiten für das Instrument da es in eine beliebige Anzahl von Segmenten unterteilt werden kann. Einige Konfigurationen sind beispielhaft in Abbildung 5 dargestellt.

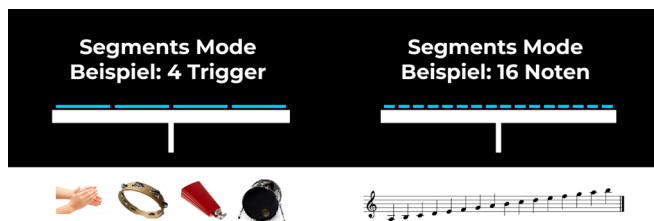


Abbildung 5: Beispiele für Standardkonfigurationen durch Unterteilung des drumbeam in beliebig viele Segmente.

Innerhalb jedes Segments wird zudem die relative Position erfasst. Diese kontinuierliche Auswertung erlaubt weitere Klangvariationen durch die positionsabhängige Kontrolle von Effekten wie in Abbildung 6 illustriert wird.

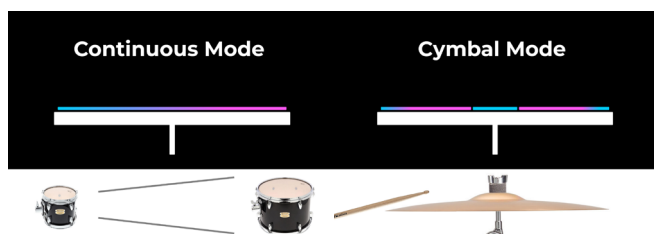


Abbildung 6: Beispiele für kontinuierliche Auswertung der Anschlagposition z. B. zur Kontrolle der Tonhöhe von Toms (links) oder Simulation eines Beckens (rechts).

Der drumbeam erkennt aber nicht nur Anschlagstärke und Position, sondern auch Streichgesten sowie mehrere gleichzeitige Berührungen. Dadurch können, z.B. durch Druck auf das Instrument mit der zweiten Hand, beliebige Klangparameter kontrolliert werden um noch mehr

Klangvariation zu erzeugen. Dies wird in Abbildung 7 illustriert.

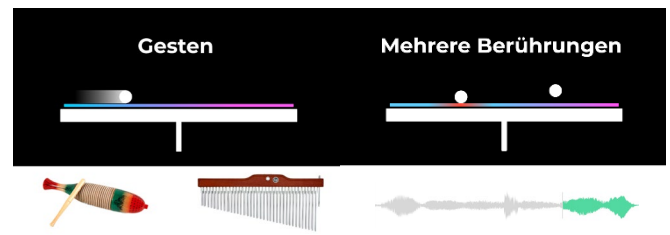


Abbildung 7: Neue Möglichkeiten für die Steuerung von Soundsynthese durch Erkennung von Streichgesten (links) oder der Abspelposition eines Samples (rechts) bei gleichzeitiger Variation des Klangs durch eine zusätzliche Berührung.

## Haptisches Feedback

Damit der/die Musiker\*in mit einem Musikinstrument intuitiv interagieren kann, benötigt er/sie Feedback. Dabei ist besonders für Schlaginstrumente das haptische Feedback (Bounce) entscheidend, z.B. um schnelle Wirbel spielen zu können. Konventionelle Triggerpads verwenden harte Gummimaterialien für die Schlagfläche. Diese erzeugen jedoch ein unnatürliches Spielgefühl. Daher wurden für das vorliegende Instrument 10 verschiedene Materialproben aus zwei unterschiedlichen Materialgruppen (Silikon und geschlossenzelliges Polyurethanschaumstoff) ausgewählt und auf ihre für die Spielbarkeit relevanten Materialparameter untersucht. Diese Parameter sind zum einen die Härte des Materials und zum anderen die Rückprallelastizität.

### Materialparameter haptisches Feedback

Die Härte ist ein Maß für den Widerstand, den eine Materialprobe dem Eindringen eines genormten Eindringkörpers entgegensetzt. Die Rückprallelastizität dient zur Beurteilung des elastischen Verhaltens von Kunststoffen bei schlagartiger Beanspruchung [6]. Für alle ausgewählten Materialien wurde die Härte nach Shore Typ A entsprechend DIN EN ISO 868 sowie die Rückprallelastizität in Anlehnung an DIN EN ISO 8307 ermittelt. Für die Messung der Härte kam ein Durometer vom Typ Shore A zum Einsatz. Dieses besteht aus einer kegelförmigen Prüfspitze, welche bis zum Anschlag in das Material gedrückt wird. An der Prüfspitze wird mittels einer genormten Feder die zurückwirkende Kraft gemessen, welche dann als Materialhärte in Shore an der Anzeige abgelesen werden kann [7]. Die gemessenen Härten für alle betrachteten Materialproben sind in Tabelle 1 aufgelistet.

Tabelle 1: Gemessene Härte der evaluierten Materialien

Material	Härte in Shore A
Polyurethanschaumstoff A	22,5
Polyurethanschaumstoff B	29
Polyurethanschaumstoff C	41
Polyurethanschaumstoff D	55
Polyurethanschaumstoff E	61
Polyurethanschaumstoff F	78
Silikon A	39
Silikon B	48
Silikon C	59
Silikon D	71

Die Ermittlung der Kugel-Rückprallelastizität erfolgte in Anlehnung an DIN EN ISO 8307, indem eine Kugel innerhalb einer beschrifteten durchsichtigen Röhre aus einer Höhe von 50 cm auf die Materialprobe fallen gelassen wurde. Anhand der Beschriftung ließ sich ablesen, um wie viel Prozent der Fallhöhe die Kugel zurückspringt, wodurch sich ein Rückschluss auf die beim Aufprall reflektierte kinetische Energie ziehen lässt [8]. Für alle betrachteten Materialien wurde die Messung der Kugel-Rückprallelastizität dreifach durchgeführt und der Mittelwert aus diesen drei Versuchen gebildet, da die visuelle Bestimmung der Rückprallhöhe möglicherweise etwas fehlerbehaftet ist. Abweichungen lagen dabei stets unter 3%. Die Ergebnisse dieser Messungen sind in Tabelle 2 dargestellt.

**Tabelle 2:** Gemessener Rückprallelastizität der evaluierten Materialien

Material	Rückprallelastizität in %
Polyurethanschaumstoff A	65
Polyurethanschaumstoff B	67
Polyurethanschaumstoff C	60
Polyurethanschaumstoff D	62
Polyurethanschaumstoff E	53
Polyurethanschaumstoff F	62
Silikon A	44
Silikon B	46
Silikon C	40
Silikon D	37

### Spieltest haptisches Feedback

Anschließend wurde eine Wahrnehmungsstudie zur Beurteilung der Qualität dieser Materialien im Hinblick auf eine gute Spielbarkeit durchgeführt. Aus dieser konnten Rückschlüsse auf die bevorzugten Materialgruppen und -parameter gezogen werden.

Die Evaluation der Materialproben erfolgte dabei jeweils einmal für das Spiel mit der Stockspitze (Tip) und für das Spiel mit dem Schaft, da beide Anschlagetechniken mit dem Instrument möglich sind, aber gegebenenfalls unterschiedliche Präferenzen erzeugen. Zu diesem Zweck wurden alle Materialien im Versuchsaufbau in zweifacher Ausführung angebracht, einmal als 10 cm x 10 cm große Flächen für das Tip-Spiel und einmal als 10 cm x 2 cm große Streifen am Rand für das Schaft-Spiel. Die Materialien wurden auf eine steife Holzplatte geklebt, welche für die Wahrnehmungsstudie fest auf einem stabilen Tisch montiert wurde, um Verfälschungen durch Schwingung der Unterlage zu vermeiden.

Die Evaluation der Qualität des Spielgefühls erfolgte mit einer neunstufigen Skale. Hierbei sollte eine möglichst äquidistant verteilte Antwortskala mit verbaler und numerischer Beschreibung verwendet werden. Es wurde deshalb die in Tabelle 3 gegebene Bewertungsskala nach Rohmann verwendet [9]. Diese wurde als Intervallskala betrachtet, für welche sich Mittelwerte und Konfidenzintervalle berechnen lassen.

An der Studie nahmen 20 Schlagzeuger\*innen teil, wovon 8 in die Kategorie Amateur und 12 in die Kategorie Profi mit

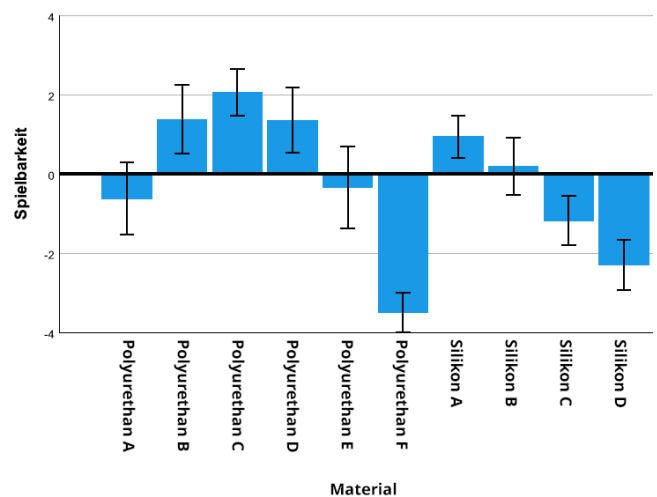
Musikhochschulstudium oder langjähriger Banderfahrung eingeordnet werden können.

Die statistische Auswertung erfolgte mit der Software SPSS. Nach Prüfung der dafür notwendigen Voraussetzungen wurde eine Varianzanalyse (Analysis of Variance, ANOVA) mit Messwiederholung durchgeführt. Wichtigste Voraussetzung hierfür ist die hinreichende Normalverteilung der Daten, welche mit Hilfe deskriptiver Statistik durch Histogramme grafisch überprüft und durch den Kolmogorov-Smirnov-Test analysiert wurde. Obwohl nicht für alle Antworten Normalverteilung angenommen werden konnte, wurde trotzdem eine ANOVA durchgeführt, da diese gegenüber Verletzungen ihrer Voraussetzungen relativ robust ist [10].

**Tabelle 3:** Antwortskala für Qualitätsbewertung nach [9]

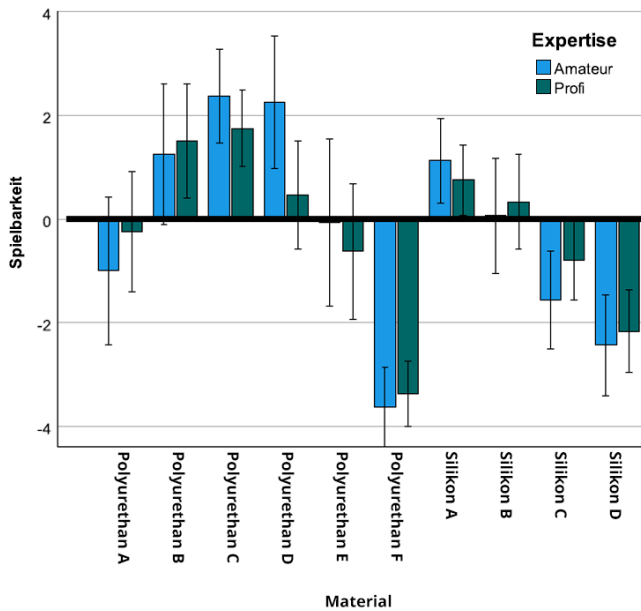
sehr gut	+4
gut	+3
ziemlich gut	+2
mehr gut als schlecht	+1
mittelmäßig	0
mehr schlecht als gut	-1
ziemlich schlecht	-2
schlecht	-3
sehr schlecht	-4

Abbildung 8 zeigt die Ergebnisse der Wahrnehmungsstudie gemittelt über alle Versuchspersonen und Anschlagetechniken. Dabei sind wie in allen folgenden Diagrammen die Mittelwerte sowie 95% Konfidenzintervalle dargestellt. In der Gruppe der Polyurethane wird Material C am besten bewertet. Allerdings überlappen die benachbarten Konfidenzintervalle für die jeweils nächsthärtere und -weichere Materialprobe der Polyurethanproben was auf fehlende Signifikanz der Unterschiede hindeutet. Aus der Silikon-Gruppe wird mit Silikon A das weichste Silikon tendenziell im Mittel am besten bewertet. Mit steigender Härte ist hierbei ein Trend zu einer schlechteren Bewertung auszumachen. Allerdings überlappen auch hier die Konfidenzintervalle teilweise. Eventuell wäre eine noch weichere Silikonprobe sinnvoll für die Evaluation, um den bevorzugten Härtebereich besser identifizieren zu können.



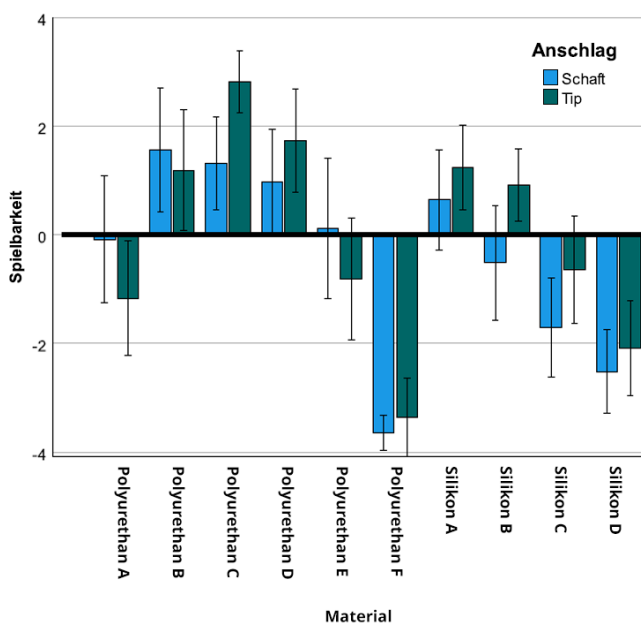
**Abbildung 8:** Wahrnehmungsurteile für die Spielbarkeit verschiedener Materialien als Mittelwerte mit 95% Konfidenzintervallen.

In Abbildung 9 werden nun die Ergebnisse der Studie für die Expertisegruppen aufgeschlüsselt. Es zeigt sich, dass die Ergebnisse für beide Gruppen prinzipiell ähnlich aussehen.



**Abbildung 9:** Wahrnehmungsurteile für die Spielbarkeit verschiedener Materialien als Mittelwerte mit 95% Konfidenzintervallen aufgeschlüsselt nach Expertise der Proband\*innen.

Abbildung 10 zeigt nun die Ergebnisse der Studie gemittelt über alle Versuchspersonen, aber aufgeschlüsselt nach Anschlagtechnik. Hierbei zeigen sich erneute tendenzielle Unterschiede in der Bewertung die aber meist keine statistische Signifikanz erreichen. Tendenziell lässt sich sagen, dass für das Spiel mit dem Schaft weichere Materialien bevorzugt werden als für das Spiel mit dem Tip. Beim Spiel mit dem Tip werden die unterschiedlich harten Materialien B, C und D in der Gruppe der Polyurethane stärker differenziert.



**Abbildung 10:** Wahrnehmungsurteile für die Spielbarkeit verschiedener Materialien als Mittelwerte mit 95% Konfidenzintervallen aufgeschlüsselt nach Spieltechnik.

## Zusammenfassung

Die bestbewerteten Materialien liegen im Härtebereich um 40 Shore A. Für ausschließliches Schaftspiel kommen allerdings auch etwas weichere Materialien in Betracht. Bei etwa gleicher Härte wird offenbar das hier verwendete Polyurethan gegenüber Silikon bevorzugt. Dies könnte an anderen Materialeigenschaften, wie z.B. der Oberflächenbeschaffenheit liegen, oder nahelegen, dass eine höhere Rückprallelastizität tendenziell besser bewertet wird.

## Danksagung

Das Projekt drumbeam und das dazugehörige Startup afk-audio [11] wird im Rahmen des EXIST-Programms durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz und den Europäischen Sozialfonds gefördert.

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz  
aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Zusammen.  
Zukunft.  
Gestalten.

## Literaturverzeichnis

- [1] R. Linn, "Why is expressive touch control important?", <https://www.rogerlinndesign.com>, letzter Zugriff am 11. März 2024.
- [2] D. Arfib, J.-M. Couturier, and L. Kessous, "Expressiveness and digital musical instrument design", *Journal of New Music Research*, vol. 34, no. 1, 2005.
- [3] L. Turchet, "Smart Musical Instruments: vision, design principles, and future directions", *IEEE Access*, vol. 7, 2018.
- [4] E. Moraitis, "Symbiosis: a biological taxonomy for modes of interaction in dancemusic collaborations", in *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*, Jul. 2020.
- [5] E. Moraitis, M. Wanderley and P. Depalle, "Gestural control of sound synthesis", *Proceedings of the IEEE*, vol. 92, no. 4, 2004.
- [6] H. W. Stumpf, „Physikalische Prüfmethode“, *Handbuch der Reifentechnik*, Springer, 1997.
- [7] DIN EN ISO 868:2003-10, „Kunststoffe und Hartgummi - Bestimmung der Eindruckhärte mit einem Durometer (Shore-Härte)", Norm, 2003.
- [8] DIN EN ISO 8307:2018-12, „Weich-elastische polymere Schaumstoffe – Bestimmung der Kugel-Rückprallelastizität", Norm, 2018.
- [9] B. Rohrmann, „Empirische Studien zur Entwicklung von Antwortskalen für die sozialwissenschaftliche Forschung“, *Zeitschrift für Sozialpsychologie*, 1978.
- [10] J. Bortz und C. Schuster, „Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler“, Springer, 2010.
- [11] drumbeam / afk-audio Homepage, <https://afk-audio.de>, letzter Zugriff am 11. März 2024.