"Baaaaaammmmm" [1]

Empfundene Qualität und Angenehmheit von läutenden Kirchenglocken

Christoph Reuter[1], Michael Plitzner[2], Marik Roos[1], Isabella Czedik-Eysenberg[1,3], Veronika Weber[1], Saleh Siddiq[1], Michael Oehler[3], Andreas Rupp[2]
[1] *Musikwissenschaftliches Institut, Universität Wien, 1090 Wien*
[2] *Europäisches Kompetenzzentrum für Glocken ECC-ProBell, Hochschule Kempten, 87435 Kempten*
[3] *Institut für Musikwissenschaft und Musikpädagogik, Universität Osnabrück, 49074 Osnabrück*

38. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Musikpsychologie (DGM)
Würzburg, 2.-4. September 2022

Hintergrund

Seit den 1950er Jahren gibt es erste moderne Regelwerke zur Bewertung von Glockenklängen [2][3][4][5], in denen besonders - meist nur verbal beschreibend - auf die klangliche **Helligkeit**, die **Teiltonzusammensetzung**, die **Grundtönigkeit** und das **Ein- und Ausschwingverhalten** des Glockenklangs eingegangen wird.
Nach allgemeiner Auffassung zeichnet sich der Klang einer wohlklingenden Glocke durch eine **weiche, volle, helle** und **klare** Tongebung mit einem **grundtönigen**, **geräuscharmen** Klangspektrum aus, in dem ein **leuchtend-klar** ausgeprägter Schlagton mit möglichst **wenig Nebenschlagtongeräuschen** hörbar ist [6].

Ziele und Fragestellung

- **Lassen sich anhand errechenbarer Klangmerkmale Modelle für die empfundene Angenehmheit und Qualität eines Glockenklangs erstellen?**
- **Welche Klangmerkmale tragen beim Vorher-Nachher-Vergleich von klanglich optimierten Glocken besonders zur empfundenen Qualitätssteigerung bei?**

Methode

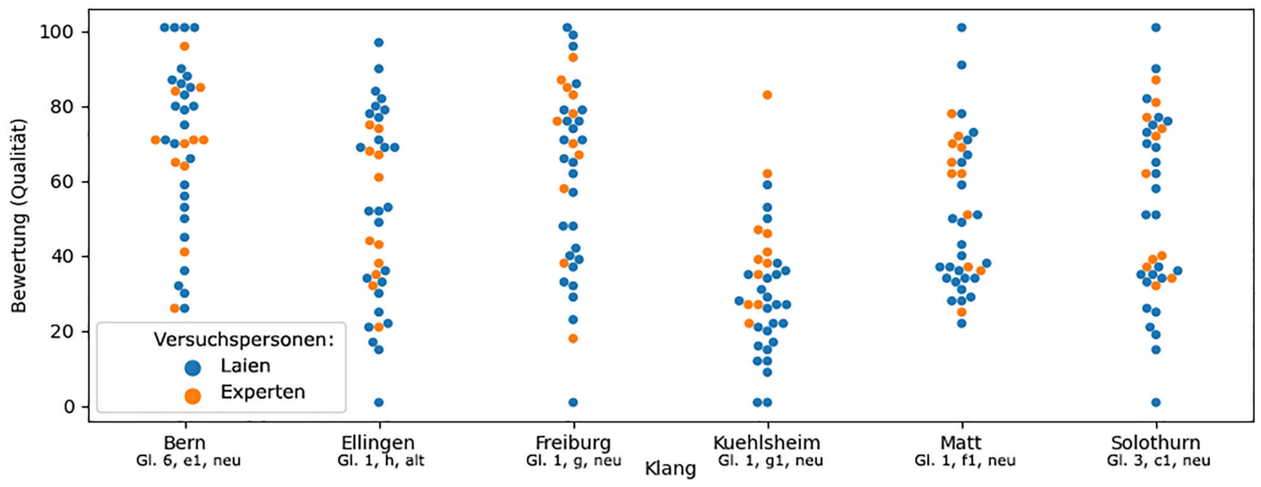
Hörversuch mit 11 Glockensachverständigen und 26 Laien zu 40 läutenden Glockenklängen (lautheitsangeglichen, randomisiert, jeweils 8 Anschläge pro Beispiel):
Urteile zur empfundenen **Qualität**, **Angenehmheit**, **Grundtönigkeit**, **Klarheit** sowie zur **Weichheit des Anschlags** wurden via Schiebereglern in einem Bereich zwischen 1 und 100 Punkten abgegeben.
Die Klänge wurden mit MIRtoolbox, Mining Suite, Essentia, Librosa und AudioCommons Timbre Models auf 127 berechenbare **klangliche Merkmale** analysiert.
Auf dieser Grundlage wurde nach **Korrelationen** zwischen Klangmerkmalen und Hörer*innenurteilen gesucht.

Ergebnisse

Ausgangslage: geringe Interrater-Korrelation zwischen den Hörer*innenurteilen:

Qualität:	Experten	Laien	Alle
Ø Pearson's r (paarweise)	0,17	0,11	0,09

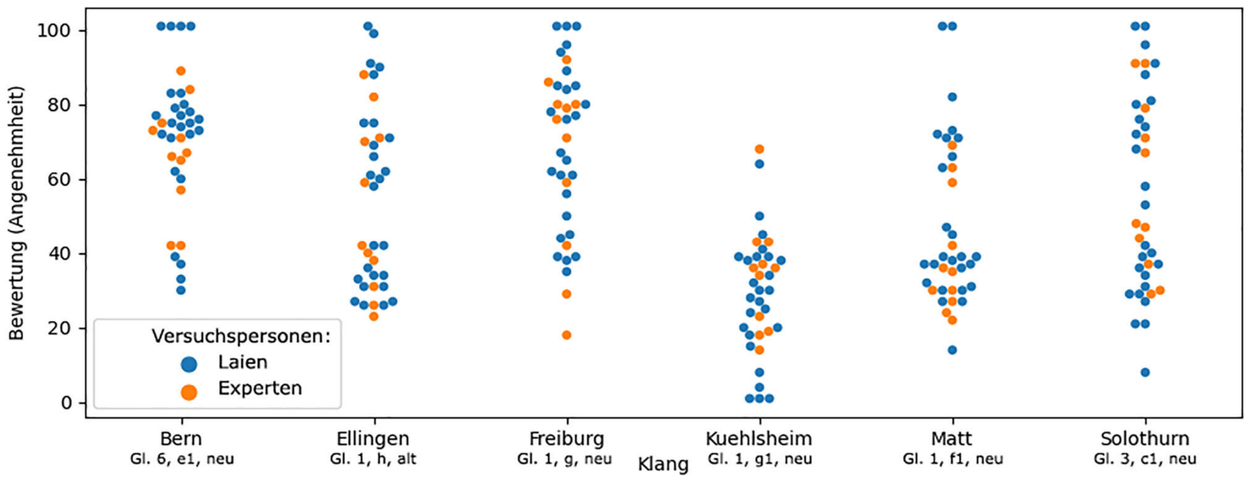
Krippendorffs α = 0,08; Cronbachs α = 0,79



Qualität: Einzelbewertungen von Glockensachverständigen und Laien in Bezug auf die Qualität der abgefragten Klänge am Beispiel von sechs Glocken.

Angenehmheit:	Experten	Laien	Alle
Ø Pearson's r (paarweise)	0,22	0,23	0,19

Krippendorffs α = 0,15; Cronbachs α = 0,889



Angenehmheit: Einzelbewertungen von Glockensachverständigen und Laien in Bezug auf die Angenehmheit der abgefragten Klänge am Beispiel von sechs Glocken.

Literatur

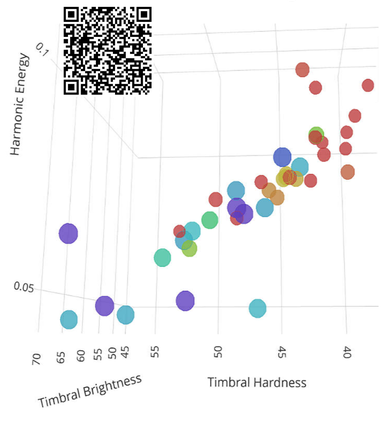
[1] Walter, M. (2018). Klangbildung und Klangwirkung - Beobachtungen zum Einfluss des technischen Umfelds auf die Glockenmusik. Konferenzbericht des 2. Glockensymposiums ECC-ProBell (S. 45–74). Göttingen: Cuvillier (S. 49).
[2] Limburger Richtlinien für die klangliche Beurteilung neuer Glocken (1951) in K. Kramer (1986), Glocken in Geschichte und Gegenwart. Karlsruhe: Badenia.
[3] Thienhaus, E. (1952). Definitionen zur Glockenprüfung. Acustica 2, S. 251–253.
[4] Ellerhorst, W., Klaus, G. (1957). Handbuch der Glockenkunde. Weingarten: Martinus.
[5] Weissenbäck, A., Pfundner, J. (1961). Tönendes Erz. Graz, Köln: Böhlhaus.
[6] Wernisch, J. (2006). Glockenkunde von Österreich. Lienz: Journal (S. 8–11).
[7] Rupp, A.; Plitzner, M. (2018). Läuteoptimierung zur Schonung von Glocken. Proceedings des 2. Glockensymposiums ECC-ProBell 2018 (S. 29-43). Göttingen: Cuvillier.
[8] Rupp, A.; Spiess, D.; Plitzner, M. (2018). Simulation des Klöppelanschlags - Einfluss der Klöppelgestaltung auf den Klang. Proceedings des 2. Glockensymposiums ECC-ProBell 2018 (S. 83-99). Göttingen: Cuvillier.

Alle Abbildungen sind interaktiv unter https://muwidb.univie.ac.at/glocken/ECC2022.htm

Ergebnisse

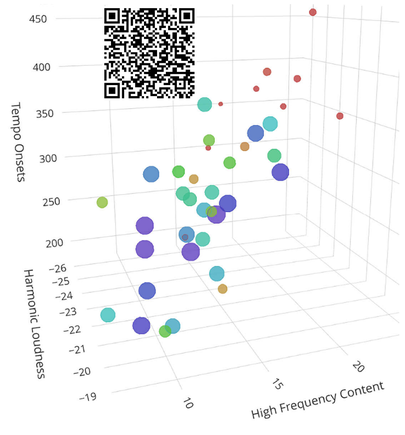
Korrelationsanalysen zur empfundenen **Klarheit**, **Grundtönigkeit** sowie zur **Weichheit des Anschlags:**

Klarheit von Glockenklängen



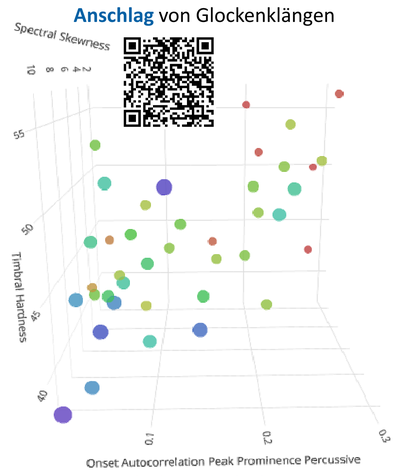
Am dumpfesten ●●●●●● am klarsten
Timbral Hardness (r=0,670***)
Timbral Brightness (r=0,652***)
Harmonic Energy (r=-0,655***)

Grundtönigkeit von Glockenklängen



Am schrillsten ●●●●●● am grundtönigsten
High Frequency Content (r=-0,492***)
Harmonic Loudness (r=0,504***)
Tempo Onsets (r=-0,499***)

Anschlag von Glockenklängen



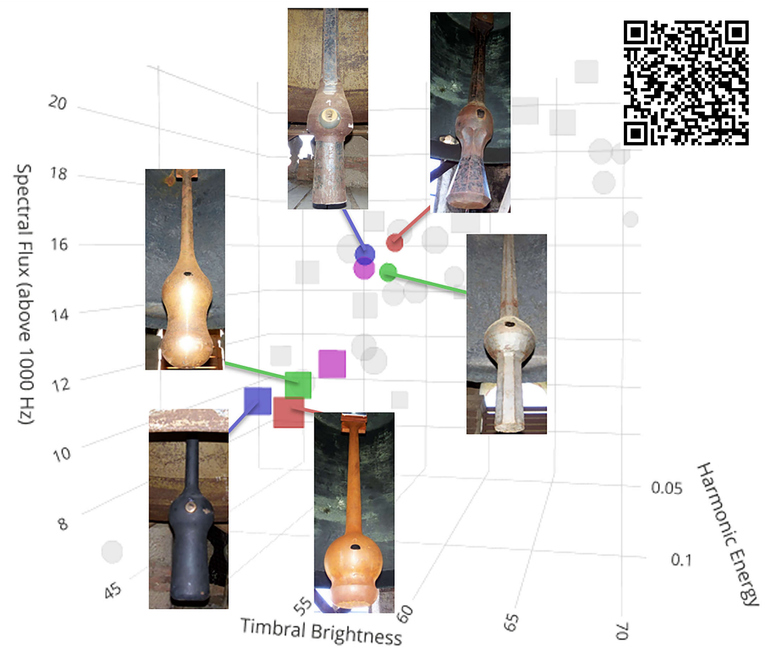
Am härtesten ●●●●●● am weichsten
Timbral Hardness (r=-0,530***)
Onset Peak Prominence (r=-0,520***)
Spectral Skewness (r=0,616***)

Eine **Optimierung des Klöppels** zur Verlängerung der Haltbarkeit der Glocke ist häufig mit einer drastischen klangfarblichen Änderung verbunden [7][8].
Die mit den baulichen Veränderungen einhergehenden klanglichen Änderungen werden sowohl von Laien als auch von Glockensachverständigen im Vorher-Nachher-Vergleich meist als **deutliche Verbesserung** eingeschätzt.

Angenehmheit (1-100):	Experten (Mittelwerte)	Laien (Mittelwerte)	Alle (Mittelwerte)
Thun, Stadtkirche, Gl. 1 (a)	(vorher) 44 -> **74** (nachher)	(vorher) 51->**71** (nachher)	(vorher) 49->**72** (nachher)
Reichenau, Münster, Gl. 2 (e1)	(vorher) 45 -> **64** (nachher)	(vorher) 55->**68** (nachher)	(vorher) 52->**67** (nachher)
Ellingen, St. Georg, Gl. 1 (h)	(vorher) 52 -> **65** (nachher)	(vorher) 56->**62** (nachher)	(vorher) 55->**63** (nachher)
Bern, Münster, Gl. 6 (e1)	(vorher) 55 -> **66** (nachher)	(vorher) 62->**70** (nachher)	(vorher) 60->**69** (nachher)

Glocken, bei denen gezielt durch die Änderung des Klöppels eine Verbesserung der empfunden Klangqualität angestrebt wurde,

- klingen **grundtöniger** (weniger hell, t= -4,472**)
- haben ausgeprägtere **harmonische Anteile** im Spektrum (harmonic energy, t= 4,443**)
- haben **weniger Geräuschanteile** (Fluktuationen oberhalb von 1000 Hz, t= -10,795***)

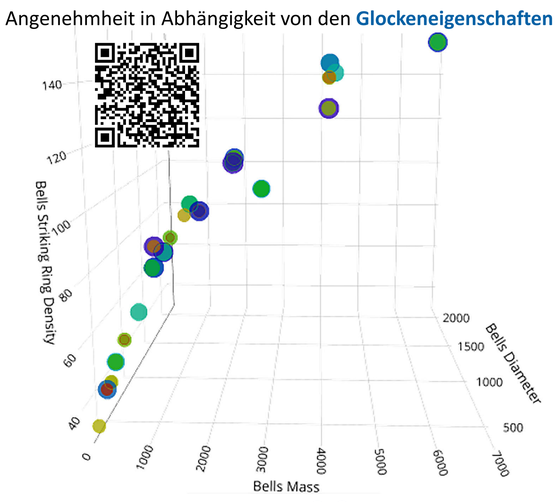


Optimierte Klöppel: vorher (●) vs. nachher (■): Thun, Reformierte Stadtkirche, Glocke 1 (a), Reichenau-Mittelzell, Münster, Glocke 2 (e1), Ellingen, St. Georg, Glocke 1 (h), Bern, Münster, Glocke 6 (e1). Größe der Symbole: Angenehmheit.

Korrelationsanalysen der empfundenen **Angenehmheit** mit **Timbral Brightness**, **Harmonic Energy** und **Spectral Flux** (>1000 Hz) zeigen:

- **Glockenmaße:** Je **größer** (und **schwerer**) die Glocke (und je **tiefer** damit ihr Schlagton) und je **dicker** der Schlagring, desto **angenehmer** der Klang.
- **Klöppelmaße**: Je **schwerer** der Klöppel (= je **größer** die Klöppelmasse und der **Ballendurchmesser)** und je **kleiner** der Läutewinkel (=je niedriger die Anfluggeschwindigkeit), desto **angenehmer** der Klang.

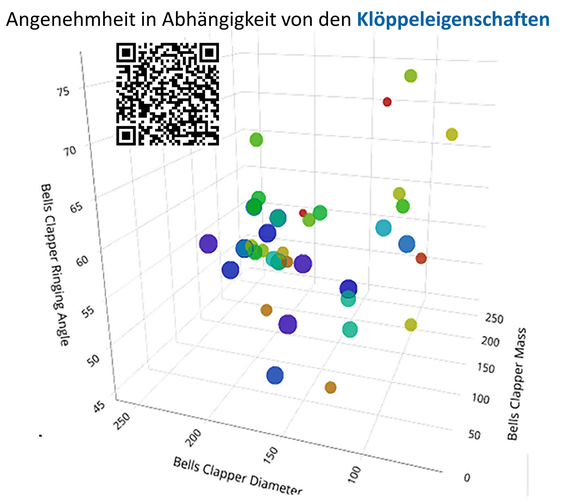
Angenehmheit in Abhängigkeit von den **Glockeneigenschaften**



am unangenehmsten ●●●●●● am angenehmsten

Klangeigenschaft	Glocke Durchmesser (mm) (r)	Schlagringdicke (mm) (r)	Glocke Masse (kg) (r)
Timbral Brightness	-0,859***	-0,846***	-0,709***
Harmonic Energy	0,782***	0,788***	0,656***
Spectral Flux	-0,683***	-0,686***	-0,583***

Angenehmheit in Abhängigkeit von den **Klöppeleigenschaften**



am unangenehmsten ●●●●●● am angenehmsten

Klangeigenschaft	Klöppel Ballen Durchmesser (mm) (r)	Läutewinkel (Grad) (r)	Klöppel Masse (kg) (r)
Timbral Brightness	-0,785***	0,661***	-0,635***
Harmonic Energy	0,691***	-0,589***	0,557***
Spectral Flux	-0,687***	0,511***	-0,578***

Zusammenfassung

- Die Hörer*innenbewertungen erlauben **noch keine eindeutige Vorhersage** zur empfundenen **Qualität**, aber die einzelnen **qualitätsbestimmenden Klangmerkmale** (**Klarheit**, **Grundtönigkeit**, **Weichheit des Anschlags**) lassen sich mit **signalanalytischen Methoden ermitteln**.
- Über **Timbral Brightness**, **Harmonic Energy** und **Spectral Flux** lassen sich die **subjektiven klanglichen Verbesserungen** bei Klöppeloptimierungen beschreiben.
- Diese Klangmerkmale eignen sich auch für die Beschreibung der **empfundenen Angenehmheit** des Glockenklangs. Diese steigt wiederum mit dem **Durchmesser** und der **Masse** der Glocke, der **Dicke** des Schlagrings, der **Masse** des Klöppels, dem **Durchmesser** des Klöppelballens sowie mit **abnehmender Anfluggeschwindigkeit** des Klöppels.